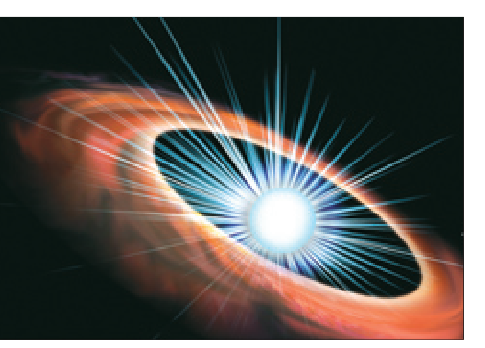


المجلد 26 ـ العددان 8/7
يوليو/ أغسطس 2010

SCIENTIFIC AMERICAN
July / August 2010



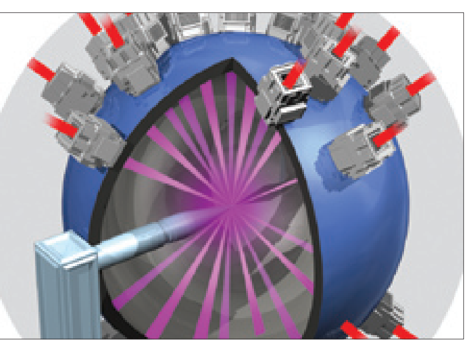
نجوم تتكون من غيوم



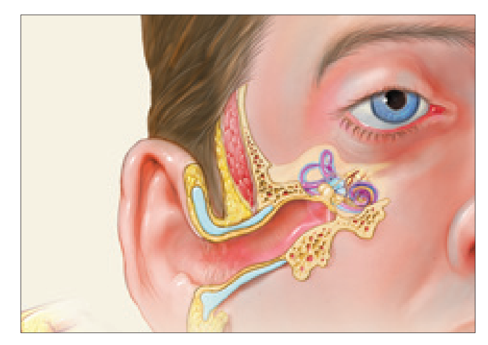
تجارب ميدانية للتنبؤ بالتغير المناخي

طاقة الدماغ الخفية
مفتاح لفهم الاضطرابات العصبية

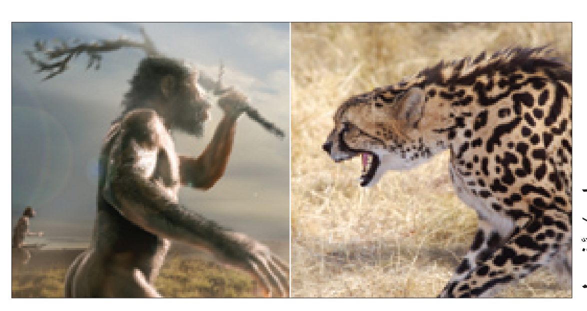
العددان 268/267 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



مفاعل الطاقة الاندماجي:
حلم تأمين طاقة نظيفة لامتناهية



آذان حيوية إلكترونية



دور الجلد العاري من الشعر
في بزوغ سمات بشرية

المجلد 26 ـ العددان 8/7
مجلة العلوم
يوليو/ أغسطس 2010



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 8/7 (2010)
268./267

شارك في هذا العدد

خضر الأحمد

علي الأمير أحمد

زيدان أسعد

عبدالمحسن الأيوبي

رياض الحلوجي

عدنان الحموي

عبدالقادر رحمو

أحمد الرحمون

محمد توفيق الرخاوي

غدير زيزفون

قاسم السارة

وليد الشارود

فؤاد العجل

عدنان عضيمة

عصام قاسم

أحمد الكفراوي

يوسف محمود

مراسلات التحرير توجه إلى : **رئيس تحرير مجلة العلوم**
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق ـ الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw ـ موقع الويب: www.kfas.org
هاتف : 22428186 (965+) ـ فاكس : 22403895 (965+)

الإعلانات في الوطن العربي يتفق عليها مع **قسم الإعلانات** بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O. Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	✻	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	✻	ليرة	Cyprus	Cl	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	✻	شلن	ليبيا	✻	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	ـ	ـ	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	✻	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	✻	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	✻	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

[✻ ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

الإشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة : تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

مراكز توزيع *مجلة العلوم* في الأقطار العربية:

• الإمارات: شركة الإمارات للطباعة والنشر والتوزيع ـ أبوظبي/ دار الحكمة ـ دبي • البحرين: الشركة العربية للوكالات والتوزيع ـ المنامة • تونس: الشركة التونسية للصحافة ـ تونس • السعودية: تهامة للتوزيع ـ جدة ـ الرياض ـ الدمام • سوريا: المؤسسة العربية السورية لتوزيع المطبوعات ـ دمشق • عُمان: محلات الثلاث نجوم ـ مسقط • فلسطين: وكالة الشرق الأوسط للتوزيع ـ القدس • قطر: دار الثقافة للطباعة والصحافة والنشر والتوزيع ـ الدوحة • الكويت: الشركة المتحدة لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ الكويت • لبنان: الشركة اللبنانية لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ بيروت • مصر: الأهرام للتوزيع ـ القاهرة • المغرب: الشركة الشريفية للتوزيع والصحافة ـ الدار البيضاء • اليمن: الدار العربية للنشر والتوزيع ـ صنعاء.

يمكن تزويد المشتركين في **العلوم** بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and formats ثم اضغط OK

بزيارة الموقع **www.kfas.org** يمكن الاطلاع على صفحة محتويات الإصدار الأخير لـ **العلوم** باللغتين العربية والإنكليزية، وعلى معلومات حول الاشتراكات في هذه المجلة.



المجلد 26 ـ العددان 8/7

يوليو/ أغسطس 2010





ترجمة أو مراجعة

«***مجلة العلوم***» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارىء غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارىء المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.



المجلد 26 العددان 8/7
يوليو/ أغسطس 2010



نجوم تتكون من غيوم(*)

إن فهم كيف يتكون نجم ليس أمرا سهلا. والفلكيون يحاولون جاهدين ملء فجوات الرؤية المتعارفة حول الكيفية التي تتكون وفقها النجوم.

<E. T. يونك>

إذا كان ثمة شيء يُظن أن علماء الفلك توصلوا إلى فهمه الآن، فهو تكوُّن النجوم. وتعود الفكرة الأساسية في طريقة تكوّن النجوم إلى <E. كانْت> و <S. P. لاپلاس> في القرن الثامن عشر؛ أما تفصيلات طريقة تلألئها وتطورها، فقد اكتشفها فيزيائيون في النصف الأول من القرن العشرين. وفي أيامنا هذه، تُعَلَّم المبادئ التي تحكم النجوم في مدارس المرحلة المتوسطة، ثم إن الأشياء غير المألوفة والمثيرة، **كالمادة المعتمة**(1)، تملأ عناوين مقالات بعض الصحف والمجلات. وقد يبدو أن التكوّن النجمي مسألة اكتمل حلها، ولكن ما من شيء يستطيع تجاوز الحقيقة، إذ إن ولادة النجوم مازالت واحدا من الموضوعات غير المبتوت فيها في الفيزياء الفلكية التي بلغت مرحلة متقدمة في أيامنا هذه.

وتمثل عملية الولادة هذه، بأبسط العبارات، انتصار **الثقالة** gravity على الضغط. وهي تبدأ بغيمة (سحابة) مترامية الأطراف من الغاز والغبار الطافية في **الفضاء البينجمي**(2). فإذا كانت غيمة - أو، في الأغلب، جزء كثيف من الغيمة يسمى **قلبها**(3) - باردة وكثيفة كفاية، فإن الجذب (نحو الداخل) الذي تقوم به الثقالة يتغلب على الدفع نحو الخارج الذي يفعله الضغط الغازي، ومن ثم تبدأ الغيمة بالانهيار نتيجة تأثير وزنها الذاتي. وإذ ذاك تأخذ كثافة وحرارة الغيمة، أو قلبها، بالتزايد، وهذا يؤدي في نهاية المطاف، إلى إطلاق شرارة **اندماج نووي**(4). وتعمل الحرارة التي يولدها الاندماج النووي على زيادة الضغط وإيقاف الانهيار. ويستمر النجم المولود الجديد بحالة توازن ديناميكي يمكن أن يدوم من ملايين إلى تريليونات السنين.

إن النظرية في هذا الحقل متساوقة **بعضها مع بعض**(5)، وتتفق مع قدر كبير متزايد من الأرصاد، ولكنها مازالت بعيدة عن الكمال، ذلك أن كل جملة ذكرناها في الفقرة السابقة تحتاج إلى تفسير؛ وبوجه خاص، ثمة أربعة أسئلة تقضُّ مضاجع الفلكيين، أوّلها أنه لو افترضنا القلوب الكثيفة بيوض النجوم، فأين الدجاجات الكونية؟ فالغيوم نفسها يجب أن تأتي من مكان ما، ثم إن تكوّنها غير مفهوم جيدا. ثانيا، ما الذي يجعل القلب يبدأ بالانهيار؟ فأيا كانت آلية هذه البداية، فهي تحدد معدل سرعة تكوّن النجوم وكتلها النهائية.

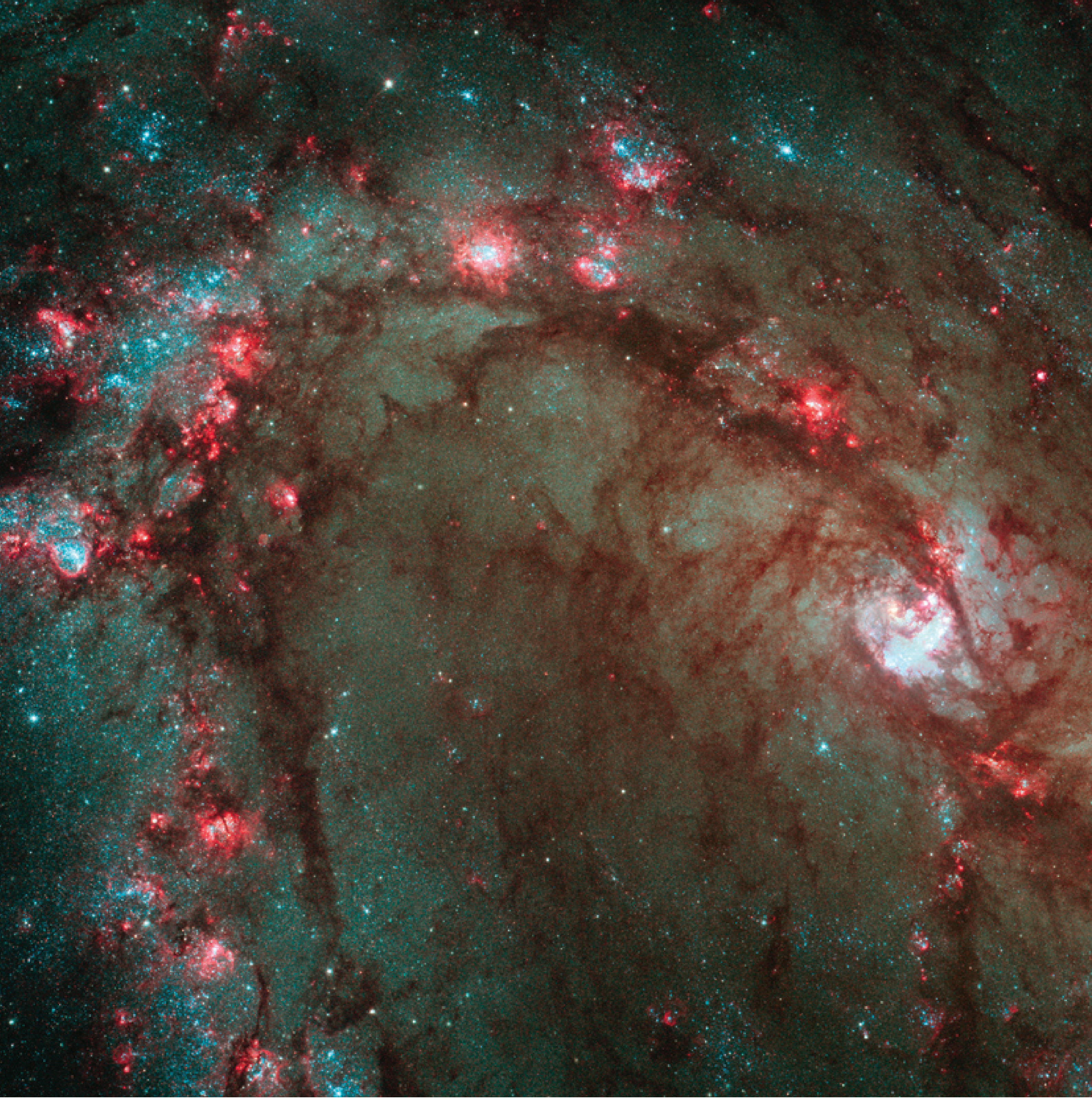
ثالثا، كيف تؤثر **النجوم الجنينية** embryonic stars أحدها في الآخر؟ إن **النظرية المعيارية**(6) تقدم وصفا للنجوم كل بمعزل عن الآخر؛ وهي لا تقول شيئا عما

مفاهيم مفتاحية

- مع أن نظرية الفلكيين في التكون النجمي أحرزت تقدما جوهريا في السنين القليلة الماضية، إلا أنها مازالت تحوي ثغرات مهمة. صحيح إن النجوم تتكون من سحب غازية عند انهيارها، ولكن من أين تأتي تلك السحب، وما الذي يجعلها تنهار؟
- إضافة إلى ذلك، تتعامل النظرية المعيارية مع النجوم كل بمعزل عن غيره، مهملة تأثراتها والسحب التي وُلِدت فيها.
- يحقق الفلكيون تقدما في ملء هذه الثغرات. وعلى سبيل المثال، فإنهم رأوا كيف تتمكن النجوم ذات الكتل الضخمة من استهلال انهيار السحب، وكيف تدفع النجوم الحديثة الولادة بعضها بعضا لتنتهي في الفضاء السحيق.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) CLOUDY WITH A CHANCE OF STARS
(1) dark matter
(2) interstellar space
(3) core
(4) nuclear fusion
(5) self-consistent
(6) the standard theory



يحـــدث حين تتكون وهـــي قريبة بعضها من بعض، كما يحدث في معظم النجوم. وتوحي الاكتشافات الحديثة أن شمسنا ولدت ضمن تجمع سرعان ما تشتت(1). تُرى، كيف يمكن أن تختلف تربية طفــل في بيت حضانة عن تربيته في بيت لا يوجد فيه غيره؟

رابعــا، كيــف تتدبــر النجــوم البالغة الضخامة أمرها لتتكــون. على أي حال إن النظريــة المعياريــة تنجح في تفســير تكوّن نجوم كتلها أكبر من كتلة شمســـنا عشرين مرة، ولكنهــا تخفق في النجــوم التي تكبر

(1) انظر: " *The Long-Lost Sibling of the Sun*," by S.Zwart, *Scientific American*, November 2009

تكون نجمي عنيف قرب قلب المجرة M83، التقطته العام الماضي آلة التصوير Wide Field Camera 3 الجديدة الموجودة على متن مقراب هابل الفضائي. وتخفق النظريات المعيارية في معرفة أسباب ظهور هذه النجوم الضخمة، التي يميل لونها إلى الزرقة، وفي معرفة الطريقة التي تعيدُ بها طاقة إلى السحب الغازية والتي تتكون هذه النجوم منها.

ولادة نجم ـ بصعوبة[*]

تقدم النظرية المعيارية في التكون النجمي تفسيرا متقنا للنجوم المنعزلة ذات الكتل الطفيفة والمتوسطة، ولكنها تترك كثيرا من الثغرات المفاهيمية.



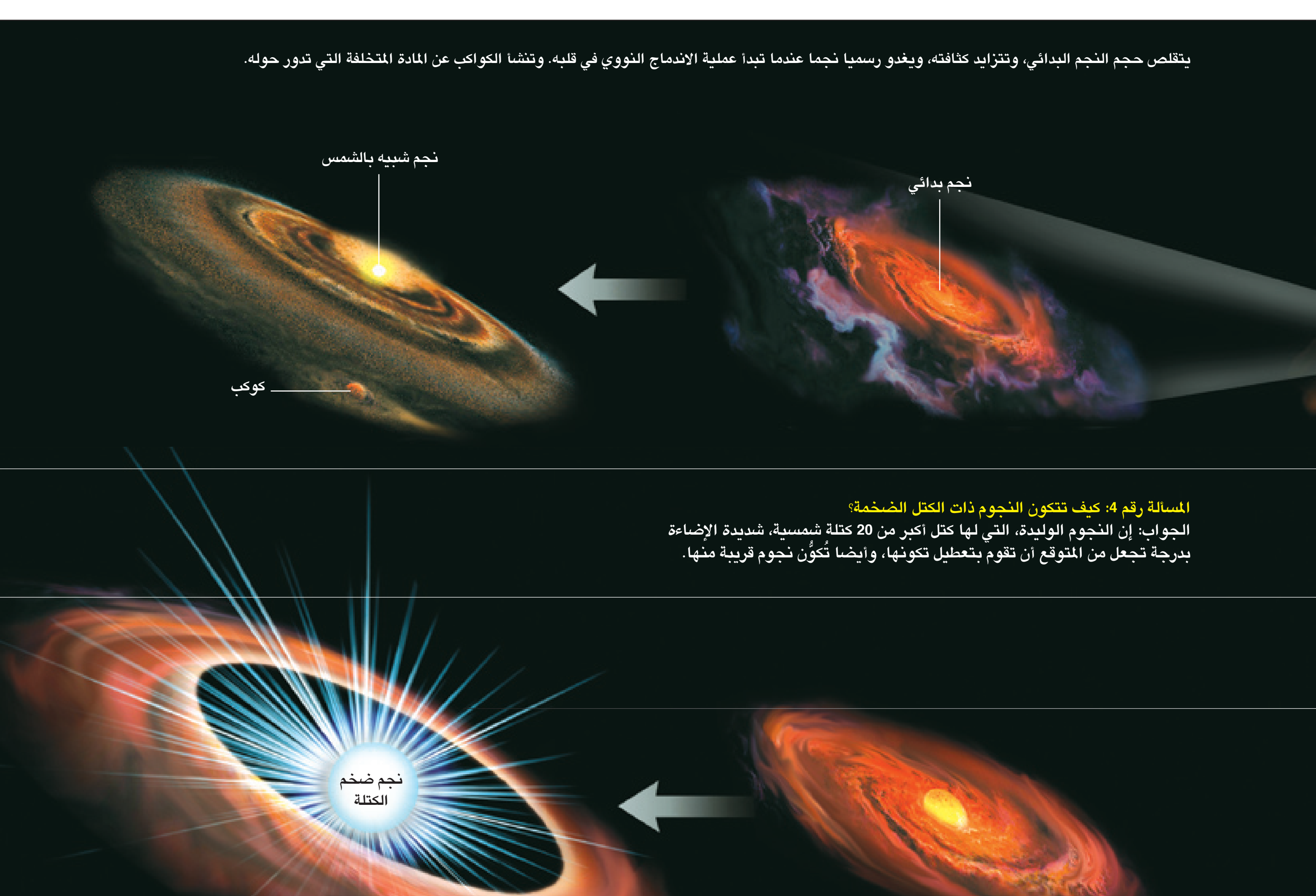
هذا الحد، والتي يتعين على تألقها الشديد أن يعصف بالغيمة قبل أن يتمكن النجم الحديث الولادة من تجميع الكتلة المطلوبة. يضاف إلى ذلك أن النجوم الضخمة تدمر ما يحيط بها بالإشعاع فوق البنفسجي، وبالاندفاعات العالية السرعة الخارجة منها، وبموجات **الصدم فوق الصوتية** supersonic shock. إن **التغذية الراجعة**[1] لهذه الطاقة تمزق الغيمة، ولكن النظرية المعيارية لا تُدْخِل هذا الأمر في الحسبان.

لقد أصبحت الحاجة إلى تلافي مواطن الضعف هذه تمثل ضغطا متعاظما على الفلكيين. فالتكون النجمي يكمن في أساس كل شيء تقريبا في علم الفلك، بدءا من نشوء المجرات، وصولا إلى تكوّن الكواكب. ومن دون فهم هذا الموضوع، فلن يكون بمقدور الفلكيين أن يعقدوا الأمل على تفحص المجرات النائية، أو أن يستفيدوا من الكواكب المكتشفة خارج منظومتنا الشمسية. ومع أن الأجوبة النهائية تظل خادعة، فثمة فكرة آخذة في البروز مفادها بأن أي نظرية أكثر تطورا في تكون النجوم لابد لها من النظير في بيئة نجم حديث العهد. فالحالة النهائية للنجم الجديد لا تتوقف على الشروط الابتدائية في القلب فحسب، بل تتوقف، أيضا، على التأثيرات اللاحقة لما يحيط به وبجيرانه من النجوم. إنها الطبيعة التلقائية مقابل الرعاية والاحتضان على مقياس كوني.

مغطاة بالغبار[**]

حين تُولّي وجهك شطر السماء من موقع مظلم، بعيدا عن أضواء المدينة، يمكنك رؤية **درب التبانة**[2] بشكل قوس يعلوك، ناشرا دفقا من الضوء تقطعه لطخات مظلمة، هي السحب البينجمية. وجسيمات الغبار في هذه السحب تحجب ضوء النجوم، وتجعل هذه الغيوم معتمة للضوء المرئي.

(*) A Star Is Born-With Difficulty
(**) Swaddled in Dust
(1) feedback
(2) the Milky Way



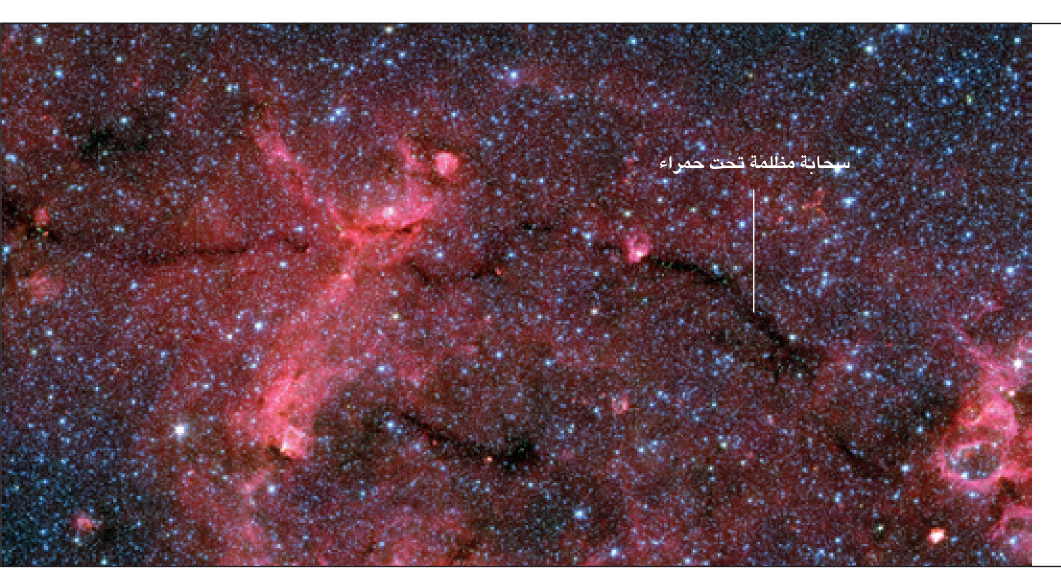
لذا، فكل مَنْ يسعى مِنّا إلى رصد التكوّن النجمي، سيواجه مشــكلة أساسية هي أن النجـــوم تخفي عملية ولادتها. إن المادة التي تولِّد النجوم ســميكة ومعتمة؛ ويتعين عليها أن تصبح كثيفة بدرجة تمكنها من استهلاك اندماج نـــووي، ولكنها لم تحقــق ذلك بعد. ويســتطيع الفلكيـــون رؤية كيــف تبدأ هذه العمليــة وكيف تنتهي، ولكــن ما يحدث بين البدايــة والنهاية يصعب جــدا رصده، ذلك أن كثيرا من الإشـــعاع يخرج بطول موجات الإشــعاع **تحت الأحمــر البعيــد**[١] وأطوال موجيــة دون مليمترية، لذا فإن صندوق عُدَدِ الفلكيــين يعد بدائيا نســبيا في التعامل مع تلك الأجزاء من الطيف.

ويعتقد الفلكيون أن الســحب التي تولَّدُ فيها النجوم تنشأ بصفتها جزءا من **الدورة الضخمــة**[٢] للوسط البينجمي، والذي ينتقل فيه الغاز والغبار من الســحب إلى النجوم، ثم يعودان أدراجهما من حيث انطلقا. وهذا الوسط مكون في المقام الأول، من الهدروجين؛

(١) far-infrared
(٢) the grand cycle

الأصول المظلمة للسحب(*)

لقد حدد الفلكيون تدريجيا مراحل اندماج السحب، بدءا من غاز منتشر بين النجوم يتزايد كثافة باطراد. هذا وإن المرحلة، التي تسبق مباشرة تكون النجوم البدائية تُمثل بما يسمى سحبا معتمة تحت حمراء. هذه السحب التي تعترض حتى انتشار الضوء تحت الأحمر، تظهر بشكل خطوط سوداء في هذه الصورة التي أخذها المسح GLIMPSE في مقراب سپيتزر الفضائي. وحجوم هذه السحب وكتلها ملائمة تماما للتكون النجمي.



ويكوِّن الهليوم قرابة ربع كتلته، أما جميع العناصر الأخرى فلا تكوِّن أكثر من بضعة أجزاء في المئة من هذا الوسط. وبعض هذه المادة بدائي لم يحدث فيه اضطراب إلا نادرا منذ الدقائق الثلاث الأولى والتي حدث فيها **الانفجار الأعظم** the big bang؛ وبعضها الآخر نبذته النجوم خلال حياتها؛ وبعضها حطام لنجوم تفجرت. إن الإشعاع النجمي يحطم أي جزيئات هدروجينية إلى الذرات التي تكونها(۱).

وفي البداية ينتشر الغاز بحيث توجد ذرة هدروجين واحدة تقريبا في السنتيمتر المكعب، بيْد أنه خلال تبرده يتخذ متحولا إلى سحب متقطعة تماما، مثلما يتكثف بخار الماء متحولا إلى سحب في جو الأرض. ويتبرد الغاز بسبب إشعاعه حرارة، ولكن العملية هذه ليست مباشرة بسبب وجود عدد محدود فقط من الطرق لخروج الحرارة. وقد تبين أن أكثر الإشعاعات فعالية هو الإصدار تحت الأحمر البعيد من عناصر كيميائية معينة، كالإشعاع الذي يصدره كربون مؤين بطول موجي قدره 158 **ميكرونا** micron. هذا وإن جو الأرض السفلي كامد (معتم) لهذه الأطوال الموجية، لذا يجب رصدها باستعمال المراصد الفضائية مثل **مرصد هيرشل الفضائي**(۲) الذي أطلقته عام 2009 وكالة الفضاء الأوروبية، أو باستعمال مقاريب مركبة على متن طائرات، مثل المرصد الذي أطلق عليه اسم (SOFIA)(۳).

ومع تبرُّد السحب، تصبح أكثر كثافة. وعندما يصبح عدد ذراتها نحو ألف في السنتيمتر المكعب، تغدو كثافتها كافية لاعتراض الإشعاع فوق البنفسجي الصادر عن المجرة المجاورة. وعند ذلك، يمكن لذرات الهدروجين الاندماج في جزيئات بواسطة عملية معقدة فيها حبيبات غبار. وقد بينت الأرصاد الراديوية أن السحب الجزيئية تحوي مركبات – بدءا من الهدروجين (H_2)، وصولا إلى عضويات مركبة – قد تكون وفرت الظروف للحياة على الأرض(٤). بيد أن درجات الحرارة، وراء هذا المسرح، تتدنى. وقد أظهرت أرصاد تحت الأحمر نجوما حديثة المولد مطمورة في أعماق الغبار، ولكن هذه الأرصاد لم تتمكن من رؤية أولى الخطوات التي أسفرت عن تحول السحابة الجزيئية إلى هذه **النجوم البدائية**(٥).

أشياء أخرى تربكنا بها النجوم(**)

ما هي سرعة تكون النجوم؟ هذا سؤال آخر يكافح الفلكيون لمعرفة جوابه. النقطة الحاسمة هي المرحلة النهائية من الانهيار، وذلك بعد أن يكون نجم بدائي قد شكّل نواة، ولكن قبل أن يكون قد كَبُرَ حجمه نتيجة الغاز المتنامي. وقد رصد فريق يقوده <N. J. إيڤانز> [من جامعة تكساس في أوستن] مجمعات قريبة تتكون فيها النجوم، وذلك بواسطة مقراب سپيتزر الفضائي، ووجدوا أن التنامي يحدث بمعدل غير مستقر جدا. ويكبر النجم بسرعة ليصل إلى نصف حجمه النهائي، ولكن نموه يتباطأ بعد ذلك، إذ يستغرق للوصول إلى حجمه النهائي عشرة أمثال الوقت الذي يستغرقه للوصول إلى نصف حجمه. وتستغرق العملية كلها وقتا أطول كثيرا مما كان يتوقعه الفلكيون. وثمة مسألة أخرى هي أن الغاز في السحب الجزيئية شديد الاضطراب، ويتحرك بسرعات فوق صوتية. تُرى، ما الذي يثير حركته هذه؟ قد تكون النجوم الجنينية نفسها هي المسؤولة عن ذلك. وجميع النجوم البدائية تقريبا تنفث دفقات بسرعة عالية [انظر: «*الأيام المبكرة في حياة نجم*»، العلوم، العدد 12(2000)، صفحة 26].

(*) The Dark Origins of Interstellar Clouds
(**) OTHER WAYS THAT STARS MYSTIFY
(۱) [انظر: «*الغاز بين النجوم*»، مجلة العلوم، العددان 6/5 (2002)، صفحة 90]
(۲) Herschel Space Observatory
(۳) the Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy
(٤) [انظر: «*مواد الحياة الأولية المقذوفة من بعيد*»، مجلة العلوم، العدد 1(2000)، صفحة 4]
(٥) protostars

بداية الانهيار(*)

إن الكتب المقررة في علم الفلك غامضة فيما يتعلق بالطريقة التي تجعل الغيوم تفقد استقرارها ثم تنهار. وتظهر الصور الحديثة تحت الحمراء التي حصل عليها المركز سپيتزر أن النجوم الضخمة المجاورة غالبا ما تكون المسؤولة عن ذلك.

إن موضوع أبكر مراحل التكون النجمي بدأ بالتغير في منتصف التسعينات من القرن العشرين، عندما اكتشف المرصدان the Midcourse Space Experiment، و the Infrared Space Observatory؛ سُحبا لها كثافة عالية (إذ إنه يوجد أكثر من 10 000 ذرة منها في السنتيمتر المكعب الواحد) قادرة على اعتراض حتى الأطوال الموجية الحرارية للإشعاع تحت الأحمر الذي يخترق عادة المناطق الغبارية. ولهذه السحب، المسماة **سحبا مظلمة تحت حمراء**(1)، كتل أكبر كثيرا (100 إلى 10 000 مرة من كتلة الشمس) من كتل السحب التي سبق اكتشافها بأطوال موجية ضوئية. وخلال السنوات العديدة المنصرمة استعمل فريقان المرصدَ سپيتزر(2) لإجراء مسح شامل لها: المسح الأول هو (GLIMPSE)(3) بقيادة <E. B.> تشيرشويل [من جامعة وسكونسن - ماديسون] والمسح الثاني هو MIPSGAL، بقيادة <S. كاري> [من مركز سپيتزر]. وهذه السحب هي الحلقة المفقودة بين السحب الجزيئية والنجوم البدائية.

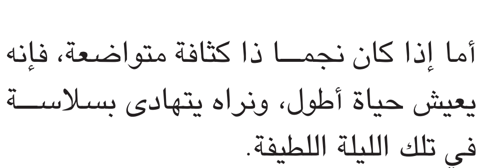
وفي الحقيقة، فقد تمثل السحب المظلمة والقلوب الكثيفة المرحلة الحاسمة للنجوم التي يمكن فيها تحديد كتلها. وللسحب كتل متسلسلة في كِبَرها؛ علما بأن الصغير الكتلة منها أكثر شيوعا من السحب الكبيرة الكتلة. ويحاكي توزع الكتل هذا توزع النجوم، باستثناء أن كتل السحب أكبر عموما ثلاث مرات من كتل النجوم، وهذا يوحي أن ثلثا واحدا فقط من كتلة سحابة يتحول إلى نجم وليد. أما ما تبقى من السحابة، فيتناثر بطريقة ما في الفضاء.

أما كون هذا التشابه في التوزيع سببيا أو مجرد مصادفة، فمسألة لا بد من حلها. وأيا كان السبب الذي يكمن وراء امتلاك نجم كُتلَتَهُ، فهي التي تحدد تاريخ حياته كلها: فإذا كان نجما ضخم الكتلة فإنه يفنى وهو مازال صغير السن ويتفجر بطريقة كارثية.





▲ في المنطقة W5 من المجرة، أحدثت النجوم الضخمة (التي تظهر في الصورة بلون مائل إلى الزرقة) تجويفا في سحابة جزيئية. وتوجد على حافة التجويف نجوم بدائية (مطمورة في غاز لونه يميل إلى الابيضاض، وآخر لونه يميل إلى اللون القرنفلي) لها العمر نفسه تقريبا، وهذا يشير إلى أن تكونها استهل بفعل النجوم الضخمة؛ أما العمليات الأخرى، فلم تجر بمثل هذا التزامن.



◄ في الحشد NGC 2068 تصطف النجوم البدائية معا مثل لآلئ في عِقْد. ومع أنها مبعثرة على نطاق واسع، فقد تكونت في الوقت نفسه تقريبا، هذا وإن المسؤول الأكثر احتمالا هو زمرة من النجوم الضخمة القريبة.

أما إذا كان نجما ذا كثافة متواضعة، فإنه يعيش حياة أطول، ونراه يتهادى بسلاسة في تلك الليلة اللطيفة.

ما الذي ضغط على الزناد؟(**)

يحرز الفلكيون بعض التقدم أيضا في المسألة الرئيسية الثانية التي لم تحل بعد، وهي التي تبحث عن الأسباب التي تؤدي إلى انهيار سحابة أو قلبها. وفي النموذج

(*) The Onset of Collapse
(**) What Pulled the Trigger
(1) infrared dark clouds
(2) the Spitzer Space Telescope
(3) the Galactic Legacy Infrared Midplane Survey Extraordinaire



الحياة في بيت حضانة مزدحم(*)

يمكن أن يتداخل تكون النجوم الحديثة الولادة بعضها ببعض، وهذا يناقض الافتراضات التي يبنى عليها النموذج المعياري للتكون النجمي. وقد وجد مركز سپيتزر مثالا في الحشد NGC 2264 الذي يسمى حشد شجرة عيد الميلاد the Christmas Tree Cluster، والذي يحوي تجمعا كثيفا من النجوم التي لها أعمار مختلفة. وقد تبين بالميز العالي high resolution أن بعض أصغر «النجوم» سنا هي تجمعات متراصة من النجوم البدائية - إذ توجد عشرة منها في منطقة نصف قطرها 0.1 سنة ضوئية، وهذا يعني أنها قريبة جدا بعضها من بعض، ومن ثم يوجد تآثر بينها.

الأطوال الموجية تحت الحمراء 101(**)

تشبه السحب بين النجمية، حيث تتكون النجوم، لطخات سوداء في الضوء المرئي، غير أنها تصبح جلية بالأطوال الموجية الراديوية وتحت الحمراء.

للأشعة تحت الحمراء طول موجي قدره 1000 ميكرون، أي مليمتر واحد. والمادة، التي تتراوح درجة حرارتها بين 3 و 3000 درجة مئوية، تصدر إشعاعا تبلغ ذرواته في هذا النطاق.

الإشعاع تحت الأحمر القريب
near-infrared radiation يقع في نهاية الأطوال الموجية القصيرة لهذا النطاق، إذ إن طولها يقع بين ميكرون وخمسة ميكرونات تقريبا. إنها، غالبا ضوء نجمي أضعف الغبار شدته.

يصل الطول الموجي للإشعاع تحت الأحمر البعيد والمتوسط البعد إلى 300 ميكرون. إطلاق الغاز هو مصدره الرئيسي. وتصعب رؤيته من الأرض لأن الأرض ذاتها تصدر في هذا النطاق، ولأن الجو الأرضي يحجب معظم الإصدار السماوي.

الأشعة دون المليمترية، التي تقع أطوالها في النطاق بين 300 و 1000 ميكرون، هي موقع جيد لرؤية المادة بين النجمية الباردة.

الموجات الراديوية هي جميع الموجات التي تكون أطول من ذلك.

المعياري للتكوّن النجمي، يَكُون القلب في بدايته متوازنا جيدا، إذ توازن الثقالة والضغط الخارجي بالضغط الداخلي الحراري أو المغنطيسي المضطرب. ويبدأ الانهيار عندما يختل هذا التوازن لمصلحة الثقالة. ولكن ما الذي يقدح زناد الاختلال في التوازن؟ للجواب عن هذا السؤال، قدم الفلكيون أسبابا جد متنوعة. فقد تقوم قوة خارجية، كأن تكون انفجار **مستعر أعظمي** supernova، بضغط السحابة، أو أن الضغط الداخلي قد يضعف جراء تبدد الحرارة أو الحقول المغنطيسية.

وقد حاج <Ch. لادا> [من مركز الفيزياء الفلكية (CfA)[1]] و<J. ألڤيس> [من المرصد (ESO)[2]] ومعاونوهم في أن السبب هو التبدد البطيء في الدعم الحراري. فبمتابعتهما للسحب الجزيئية بأطوال موجية مليمترية أو دون مليمترية، التي تغشى **النُّطُق** bands الراديوية وتحت الحمراء، استطاعا كشف عدد كبير نسبيا من القلوب المعزولة الهادئة في سحب مجاورة. ويوفر بعضها أدلة على حركات بطيئة متجهة إلى الداخل، وقد تكون في طريقها لتكوين نجوم، ويقدم **النجم** Barnard 335 مثالا ممتازا، وهو يقع في برج العقاب[3]. إن كثافته هي ما يتوقع بالضبط إذا كان الضغط الحراري للسحابة في حالة توازن تقريبا مع الضغط الخارجي. وربما كان مصدرُ الإشعاع تحت الأحمر الموجود في المركز نجما بدائيا في مرحلة مبكرة من حياته، وهذا يوحي أن التوازن مال قبل وقت قريب إلى الانهيار.

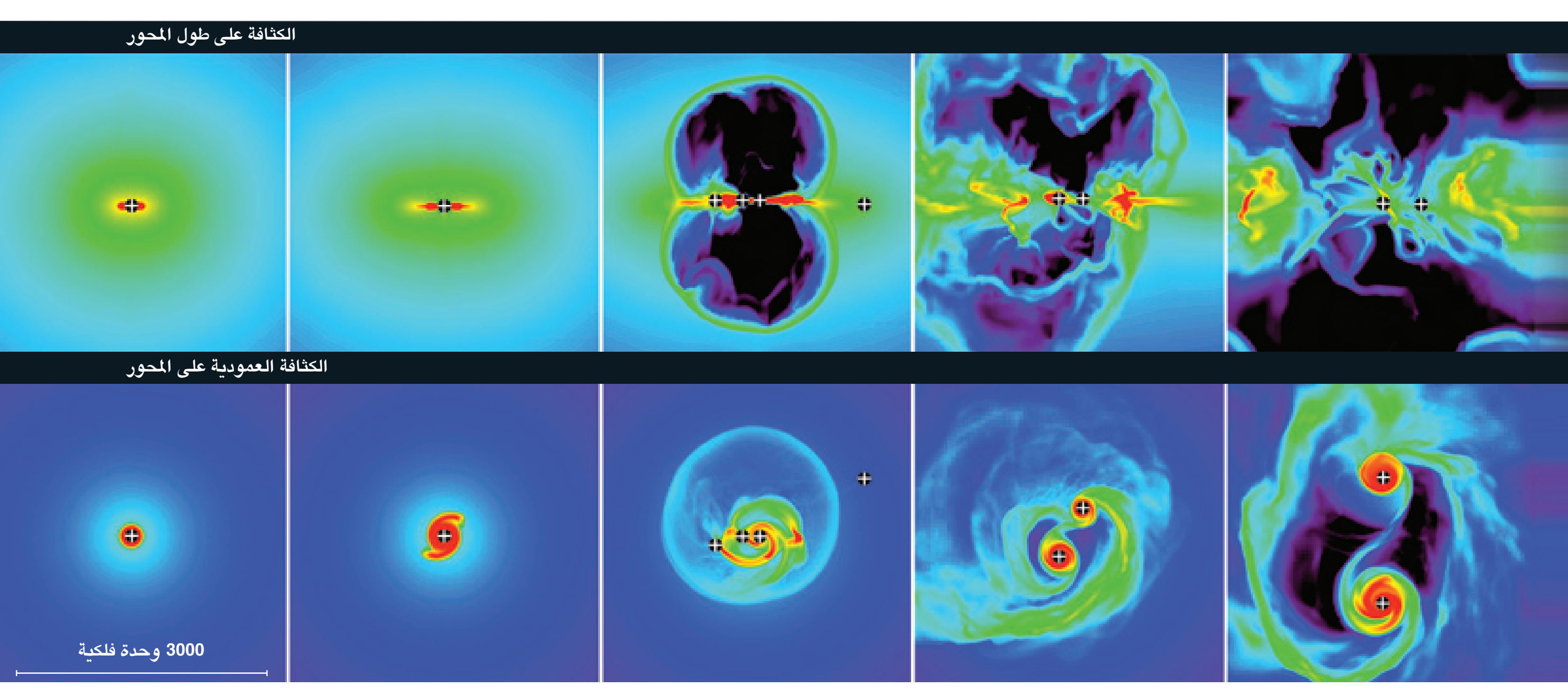
وتقدم دراسات أخرى شواهد على قدح زناد خارجي. فقد بين <T. پيربيتش> [من معهد ماكس پلانك لعلم الفلك الراديوي في بون] ومعاونوه أن ثمة نجوما موزعة على نطاق واسع في منطقة **برج العقرب العلوي**[4] تكونت جميعها معا. وسيكون من قبيل المصادفة تماما أن يتبدد الضغط الداخلي للقلوب المختلفة في وقت واحد. وثمة تفسير أكثر احتمالا مفاده بأن موجة صدم أطلقها مستعر أعظمي اكتسحت المنطقة وأدت إلى انهيار القلوب. ومع ذلك، فهذا دليل غامض، لأن النجوم الضخمة تمزق المواقع التي تولد فيها، وهذا يجعل من الصعب إعادة إيجاد الظروف التي تتكون فيها. وهناك تقييد آخر يتجلى في صعوبة رؤية نجوم أصغر كتلة (وهي أضعف ضوءا) لإثبات أنها هي أيضا تكونت في وقت واحد.

اكتشف مركز سپيتزر تقدما في

(*) Life in a Crowded Nursery
(**) INFRARED 101
(1) Center for Astrophysics
(2) the European Southern Observatory
(3) Aquila
(4) the Upper Scorpius

اختراق سقف الكتلة(*)

تبين محاكيات حاسوبية حديثة للتكون النجمي أن النجم الضخم الكتلة قادر على بلوغ حجم يبدو مستحيلا، لأنه لا ينمو بانتظام. إن الإشعاع الذي يُصدره النجم البدائي يدفع الغاز بعيدا عنه، وهذا يولد خلاءات (فقاقيع) عملاقة ضمن الغاز، ولكنه لا يكبح كليا تدفق الغاز نحو النجم، لأن المادة تتجمع على هيئة خيوط في الصدوع داخل هذه الخلاءات.



17 500 سنة : لقد تكوّن نجم بدائي، ويتدفق الغاز نحوه بانتظام إلى حد ما. هذا وإن الطاقة الكامنة التثاقلية المحررة بفعل هذا التدفق للغاز تجعله متوهجا.

25 000 سنة : عندما يكون النجم البدائي قد صار بحجم 11 كتلة شمسية، يصبح الغاز المحيط به غير مستقر تثاقليا، ويأخذ شكلا لولبيا.

34 000 سنة : عندما تتجاوز كتلة النجم البدائي 17 كتلة شمسية، يقوم الإشعاع بدفع الغاز خارجا، مولدا فقاقيع. ولكن الغاز مازال يتدفق نحو الداخل حولها. وعندئذ تتكون نجوم بدائية أصغر.

41 700 سنة : ينمو أحد النجوم البدائية الصغيرة بسرعة أعلى من النجم البدائي المركزي، وسرعان ما ينافسه في الحجم. والتنامي لا يكون غير منتظم في الفضاء فحسب، بل هو، أيضا، غير مستقر في الزمان.

55 900 سنة : تنتهي المحاكاة حين تبلغ كتلة النجم المركزي 42 كتلة شمسية، وكتلة رفاقه 29 كتلة شمسية. ويتبقى نحو 28 كتلة شمسية من الغاز الذي يُحتمل أن يسقط نحو الداخل في نهاية المطاف.

حل هذه الأسئلة. وقد اكتشف <L. ألين> [من المرصد الوطني لعلم الفلك الضوئي (NOAO)[1]] و<P. X. كوينگ> [من المركز CfA] ومعاونوهما مثالا مدهشا على قدح زناد خارجي في منطقة من المجرة تسمى W5 (*انظر المؤطر في الصفحة 9*). وتظهر صورهما نجوما بدائية فتية مطمورة في جيوب كثيفة من الغاز انضغطت بالإشعاع الصادر عن جيل سابق من النجوم. ولما كان الانضغاط عملية سريعة، فلا بد أن هذه الأجسام المبعثرة على نطاق واسع تكونت في وقت واحد تقريبا. واختصارا، فإن مسألة قدح زناد تكوُّن نجميٍّ لا تحتمل إجابة من النوع «إما – أو» كما كان يظن في الماضي.

الحياة في بيت حضانة نجمي(**)

إذا وضعنا جانبا مواطن النقص التي أوردناها آنفا، فإن النموذج المعياري يفسر أرصاد القلوب المنعزلة المكونة للنجوم تفسيرا جيدا إلى حد ما. ولكن كثيرا من النجوم، إن لم يكن جميعها، تتكون في **حشود**[2]، ومن ثم فإن النموذج المعياري لا يفسر كيف أن هذا الوسط المزدحم يؤثر في ولادة تلك النجوم. وفي السنوات القليلة الماضية، قدم الباحثون نظريتين متنافستين لملء هذه الثغرة. فالتقدم الهائل في **قوة الحوسبة**[3] التي أتيحت

(*) Breaking through the Mass Ceiling
(**) Life in a Stellar Nursery
(1) the National Optical Astronomy Observatory
(2) clusters
(3) computing power

للمحاكيات(١) كان حاسما في شحذ النظريتين. ومن ثم، فإن الأرصاد، ومن أهمها تلك التي أجراها مركز سپيتزر، تساعد الفلكيين على دعم إحداهما.

في واحدة منهما، يصبح **التآثر**(٢) بين القلوب المتجاورة مهما. وفي الحالة المتطرفة يتكون كثير من النجوم البدائية البالغة الصغر، وهي تتحرك بسرعة عبر السحابة، وتجهد كي تجمع ما تبقى من الغاز. وبعض هذه النجوم يكبر حجمها أكثر من الأخرى، أما الخاسرون فقد يطردون جميعا من الحشد، وهذا يولّد صفا من الأقزام النجمية التي تطوف في المجرة. وقد أَيَّدَ هذه الصورة، التي سميت **تناميا تنافسيا**(٣)، <I.> بونيل [من جامعة سانت أندروز] و<M.> بيت [من جامعة إكستر] وآخرون.

وفي النموذج البديل، لا يكون التأثير الخارجي الرئيسي التآثرات بين القلوب، بل الاضطراب ضمن الغاز. ويساعد الاضطراب على قدح زناد الانهيار؛ ثم إن توزع حجوم النجوم يعكس طيف الحركات المضطربة وليس تنافسات في وقت لاحق على المادة. وقد ابتكر **نموذج القلب المضطرب**(٤) هذا <C.> ماك كي [من جامعة كاليفورنيا في بيركلي] و<M.> كرومهولتز [من جامعة كاليفورنيا في سانتاكروز] وآخرون.

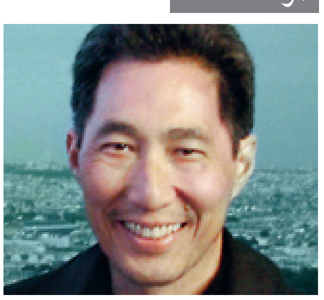
ويبدو أن الأرصاد تحبذ نموذج القلب المضطرب(٥)، ولكن نموذج التنامي التنافسي قد يكون مهما في مناطق تحظى بكثافة نجمية عالية. وإحدى الحالات المثيرة جدا للاهتمام، **حشد شجرة الميلاد**(٦) (NGC 2264) الموجود في كوكبة مونوسيروس(٧). وفي الضوء المرئي، تظهر هذه المنطقة عددا من النجوم الساطعة ومقادير كبيرة من الغبار والغاز - وهي سمات مميزة للتكون النجمي. وقد كشفت أرصاد مركز سپيتزر حشدا مطمورا كثيفا من النجوم التي تنتمي إلى مراحل مختلفة من التطور. ويوفر هذا الحشد لقطة سريعة لتلك المراحل بالضبط، التي سيترك فيها الاضطراب أو التنامي التنافسي علاماته.

إن أصغر النجوم سنا، وتتميز بأنها تحتوي على أعلى نسبة من الإصدارات بأطوال موجية كبيرة، تتكتل في **زمر محكمة**(٨). وقد بينت <P. S.> تكسيرا [تعمل الآن في المرصد ESO] ومعاونوها أن هذه النجوم يتباعد بعضها عن بعض كل 0.3 سنة ضوئية تقريبا. وهذه الصورة هي ما يتوقع بالضبط إن كانت القلوب الكثيفة تنهار **تثاقليا** gravitationally وتخرج من الغيمة الجزيئية العامة، وهذا يوحي أن الظروف الابتدائية في الغيمة هي التي تحدد الطريق إلى الانهيار. ومع ذلك، فحتى ولو كانت الأرصاد تدعم النموذج المضطرب، فللصور **ميز**(٩) جيد يُمكننا من القول إن بعض النجوم البدائية المفترضة ليست أجساما منعزلة، إنما هي زمر متراصة من الأجسام، تحوي إحداها عشرة مصادر ضمن منطقة نصف قطرها 0.1 سنة ضوئية. وللأجسام كثافة عالية جدا تؤدي إلى ضرورة حدوث تنام تنافسي، وذلك بمقياس صغير على الأقل.

لذا، فكما هو الحال في آليات قدح الزناد، فإن أثر البيئة النجمية لا يسمح **بالخيار «إما - أو»**(١٠). ولكن يمكن للاضطراب والتنامي التنافسي أن يعملا كلاهما، وذلك يتوقف على الظروف. ويبدو أن الطبيعة تستفيد من كل طريقة ممكنة لتكوين نجم.

(١) simulations
(٢) interactions
(٣) competitive accretion
(٤) turbulent-core model
(٥) [انظر: "*The Mystery of Brown Dwarf Origins,*" by S. Mohanty R. Jayawardhana; *Scientific American,* January 2006]
(٦) Christmas Tree Cluster
(٧) Monoceros
(٨) tight group
(٩) resolution
(١٠) either-or choice





Erick T. Young

*بدأ اهتمامه بعلم الفلك حين كان في السادسة عشرة من عمره، إذ صنع آنذاك مقرابا من أنبوب من الورق المقوى. هو الآن مدير عمليات البعثة العلمية للمرصد الذي أطلق عليه اسم (SOFIA). كان حيونگ فلكيا في مرصد Steward التابع لجامعة أريزونا بين عامي 1978 و 2009. وكان يعمل في الفرق العلمية في كل مرفق فضائي رئيسي تحت الأحمر، من ضمنها **الساتل الفلكي** the Infrared Astronomical Satellite، و**المرصد الفضائي تحت الأحمر** the Infrared Space Observatory، و**آلة التصوير** NICMOS، و**آلة التصوير** the Wide Field Camera 3 المركبة على متن مقراب هابل الفضائي، و**المقراب** the Spitzer Space Telescope، و**المقراب المقبل** James Webb Space Telescope.*

اجعل هذا النجم فائق الحجم[*]

إن النجوم ذوات الكتل الضخمة نادرة الوجود وقصيرة العمر، لكنها تؤدي دورا مهما في نشوء المجرات وتطورها. إنها تضخ طاقة في الوسط البينجمي بواسطة التدفقات الخارجية للمادة والإشعاع كليهما، ثم إنها، في أواخر حياتها، يمكن أن تنفجر كالمستعرات الأعظمية، معيدة بذلك المادة مخصبة بعناصر ثقيلة. ودرب التبانة مليء بفقاقيع وبقايا مستعرات أعظمية ولّدتها مثل هذه النجوم. بيد أن النظرية المعيارية تعاني مشكلة في تفسير تكوّنها. وحالما يصل نجم بدائي عتبة تعادل قرابة 20 كتلة شمسية، يتعين على الضغط الذي يحدثه إشعاعه التغلب على قوة الثقالة، ومنعها من التعاظم. وإضافة إلى ضغط الإشعاع، فإن الرياح التي يطلقها مثل هذا النجم الضخم تشتت السحابة التي ولدته، وهذا يحد من نموه، ولا يسمح له بالتدخل في تكوين نجوم قريبة.

ويوفر بحث نظري حديث، أنجزه <كرومهولتز> ومعاونوه، طريقة للخروج من هذه المشكلة. فمحاكياتهم الثلاثية الأبعاد تبين نموا نجميا في ظروف تعقيدات غير متوقعة. فالتدفق الداخلي للمادة يمكن أن يغدو غير منتظم البتة؛ إذ يجري تناوب بين المناطق الكثيفة وبين الفقاقيع التي يتدفق منها الضوء إلى الخارج. لذا، فإن الضغط الإشعاعي ربما لا يضع عقبة أمام النمو المستمر على الرغم من كل شيء. ومن ثم، فإن المادة الكثيفة المتدفقة نحو الداخل تكوِّن، أيضا وبسرعة، **نجوما مرافقة**[1]، وهذا يفسر السبب في أن النجوم الضخمة الكتلة نادرا ما تُرى وحيدة. ويبحث الراصدون الآن عن تأييد لهذا الأمر بالاستفادة من عمليات مسح سپيتزر للمناطق التي تتكون فيها النجوم ذات الكتل الضخمة. بيد أن هذه عملية ليست بالسهلة بسبب ندرة هذه النجوم وقصر أعمارها، ومن ثم فمن الصعوبة بمكان اصطيادها خلال عملية تكوُّنها.

ولحسن الحظ، فثمة مرافق جديدة ستساعد سريعا على حل هذه المشكلة ومسائل أخرى طرحها التكون النجمي. منها، على سبيل المثال، هيرشل وصوفيا، وهي طائرة من طراز Boeing 747، ستحلق فوق 99 في المئة من بخار الماء الذي يجعل جو الأرض مظلما، وسترصد الأطوال الموجية للإشعاع تحت الأحمر البعيد، والأطوال الموجية دون المليمترية، حيث تكون رؤية التكون النجمي أسهل كثيرا. وللتجهيزات الموجودة على متن الطائرة ميز مكاني وظيفي، وهذا ضروري لرسم خريطة مفصلة للسرعات في الغيوم البينجمية. وفيما يتعلق بالأطوال الموجية التي هي أكبر، فإن الصفيف (ALMA)[2]، الذي يجري بناؤه في الصين حاليا، سيسمح برسم خريطة للنجوم البدائية المنفردة بتفصيل بالغ الإتقان.

وبالإفادة من هذه الأرصاد الجديدة، يأمل الفلكيون بأن يتتبعوا الدورة الكاملة لحياة الوسط البينجمي: من الغيوم الذرية، إلى الغيوم الجزيئية، إلى القلوب التي سبقت ولادة النجوم، إلى النجوم، وأخيرا، العودة إلى الغاز المنتشر. ويحدو هؤلاء العلماء أيضا الأمل برصد أقراص التكون النجمي بميز زاوي يكفي لجعلهم قادرين على تعقب التدفق نحو الداخل للمادة الآتية من الغيمة، وأيضا، مقارنة تأثيرات البيئات المختلفة في ولادة النجوم.

وستفيد الأجوبة موضوعات أخرى في الفيزياء الفلكية. فكل شيء نراه - المجرات، السحب البينجمية، النجوم، الكواكب، الناس - صار وجوده ممكنا بفضل التكون النجمي. هذا وإن نظريتنا الحالية في التكون النجمي ليست سيئة، ولكن الثغرات التي تتخللها تجعلنا عاجزين عن تفسير كثير من أهم سمات عالمنا الحالي. ونحن نرى في تلك الثغرات أن التكون النجمي عملية أكثر غنى مما كان يتوقعه أي إنسان على وجه هذه البسيطة. ■

(*) Supersize This Star

(١) companion stars

(٢) the Atacama Large Millimeter Array

مراجع للاستزادة

Spitzer and Magellan Observations of NGC 2264: A Remarkable Star-Forming Core near IRS-2. Erick T. Young et al. in *Astrophysical Journal*, Vol. 642, No. 2, pages 972–978; May 10, 2006. **arxiv.org/abs/astro-ph/0601300**

The Formation of Massive Star Systems by Accretion. Mark R. Krumholz et al. in *Science*, Vol. 323, pages 754–757; January 15, 2009. **arxiv.org/abs/0901.3157**

The Violent, Mysterious Dynamics of Star Formation. Adam Frank in *Discover*; February 2009. Available at **http://discovermagazine.com/2009/feb/26-violent-mysterious-dynamics-of-star-formation**

***Scientific American*, February 2010**

استعادة التوازن باستعمال آذان حَيِتْرونية(*)

يوما ما، قد تعيد الغرسات الإلكترونية في الأذن الداخلية وضوح النظر والتوازن لبعض المرضى الذين يعانون اضطراب التوازن المُقعِد.

<C. Ch> ديلا سانتينا

اسأل أصدقاءك أن يعدّدوا حواس الجسم، وسيتوقفون عادة بعد عدّ خمس حواس: الذوق واللمس والبصر والشم والسمع. إن معظم الناس لا يلاحظون حاستهم السادسة - الإحساس بكيفية توجه الرأس وحركته. ولكن فقدان هذه القدرة يمكن أن يؤدي إلى دوار شديد ومُقعِد يتبعه عدم توازن مزمن وتشوش البصر عندما يكون الرأس في وضع الحركة. ولحسن الحظ يجري قُدُما تطوير **غرسات حَيِتْرونية للأذن**(1) لاستعادة التوازن لدى الأشخاص الذين يعانون أذية **التيه الدهليزي**(2) في الأذن الداخلية - الجزء الذي يزودنا بحاستنا السادسة.

إن <R. كانون> [العامل المتقاعد الذي يبلغ 57 عاما، والذي كان يعمل في تركيب وضبط الأجهزة البخارية ويقطن في پنسلڤانيا وفلوريدا] يترقب بصبر نافد توفر هذه الأجهزة التعويضية، إذ فقد <كانون> كثيرا من إحساسه بالتوازن قبل سبع سنوات بعد أن أصيب بما يبدو أنه مرض ڤيروسي. يقول <كانون>: «دعوني أكن أول من يُجْرى له زرع غرسة دهليزية، مازلت أنتظر مكالمتهم الهاتفية منذ خمس سنوات، وحالما يستطيعون القيام بالزرع فسأمشي إلى المستشفى إن اضطررت إلى ذلك.»

يضيف <كانون> [الذي كان سباحا ماهرا من قبل]: «لقد انتقلت إلى منزل قرب الشاطئ عندما تقاعدت لأنني أحب الماء. ولكن منذ أن فقدت توازني لم أعد قادرا على السير مستقيما خاصة على الرمل.» أصبحت الأمهات الآن يسحبن أولادهن بعيدا عني لاعتقادهن أنني ثمل. إن وقوفي ضمن أمواج متكسرة على الشاطئ لا يتجاوز ارتفاعها بوصتين يجعلني أشعر بأنني على وشك السقوط. لم أعد أقود السيارة إلاّ نادرا، ولا أقودها أبدا في الليل لأنني أرى كل مصباح عشرين مصباحا.

ومع أن <R. كانون> يشعر بأنه مرتاح نسبيا في القيادة النهارية، فإنه يشير إلى أن المسارات الشبيهة بالمذنبات التي تخلفها أضواء الطريق، وهي تعبر أمام عينيه ليلا «تشبه عَرْضا بأضواء الليزر». ويقول: «أنا مستعد للتخلي عن سمعي إذا كان ذلك سيجعلني أستعيد توازني.» إن التطورات الإيجابية الحديثة في مجال غرسات الأذن الحَيِتْرونية تمنح الأمل لـ <كانون> وعشرات الآلاف من أمثاله الذين عانوا أذية للأذن الداخلية بسبب مضادات حيوية معينة (مثل الگنتامايسين) أو بسبب المعالجة الكيميائية

(*) REGAINING BALANCE WITH BIONIC EARS، **حيترونية** bionic (نحت لـ: حيوية إلكترونية): أجهزة مصممة على غرار النظم الحية تؤدي وظائفها نفسها.

(1) bionic ear implants

(2) vestibular labyrinth

مفاهيم مفتاحية

- **يمكن أن تسبب اضطرابات النظام الدهليزي في الأذن الداخلية الدوار واهتزاز النظر وتشوشه.**
- **هناك ثلاث قنوات نصف دائرية في الأذن الداخلية مسؤولة عن قياس دوران الرأس.**
- **يجري تطوير أجهزة** تعويضة اصطناعية **prostheses للقيام بوظيفة القنوات نصف الدائرية ومن ثم استعادة التوازن.**

محررو ساينتفيك أمريكان

أو التهاب السحايا أو داء مينيير أو غيرها من الأمراض.

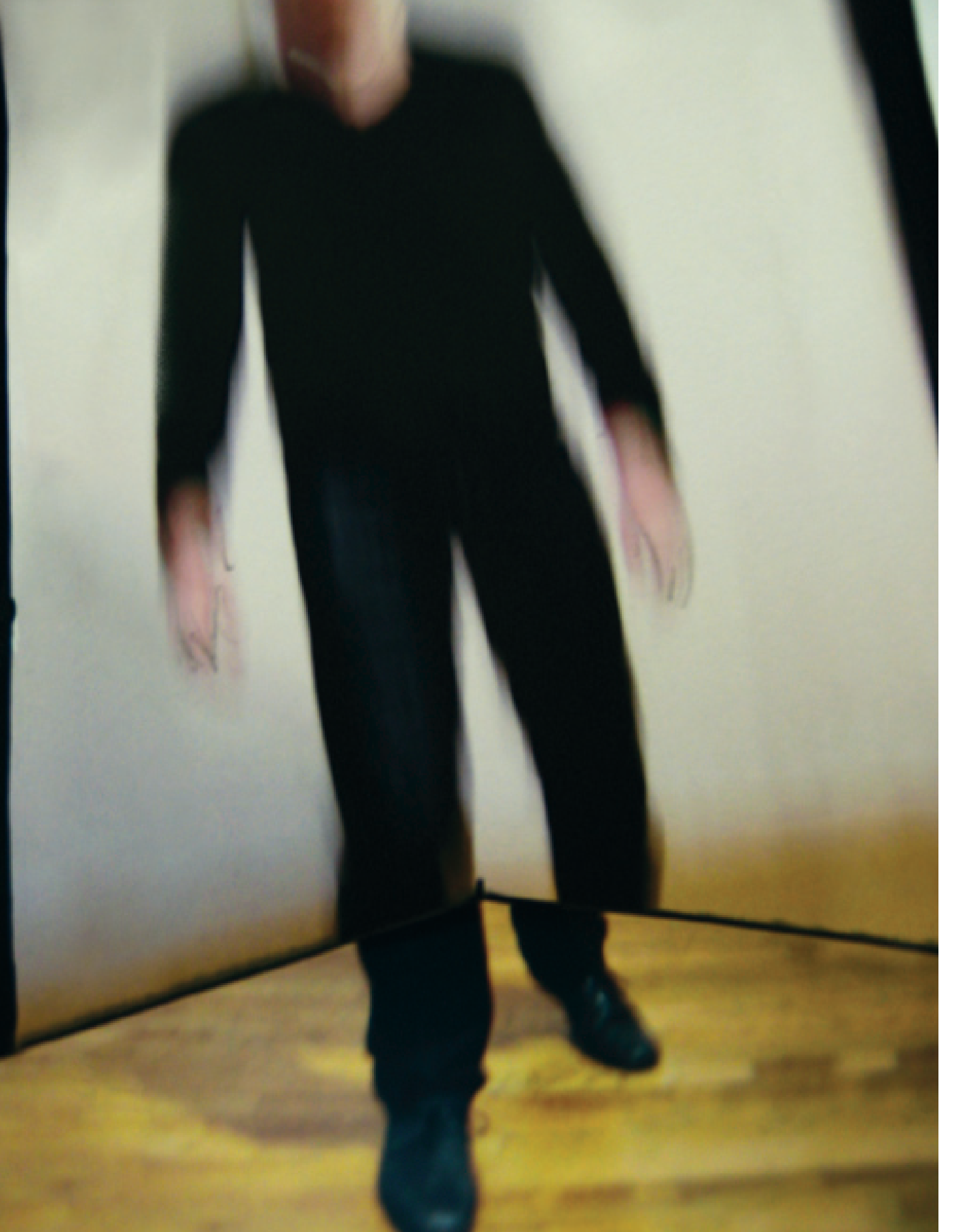
البقاء بانتصاب وثبات(*)

سوف يُؤَمِّنُ هذا النوع من الآذان الحَيْترونية الثبات عن طريق التنبيه الكهربائي إلى العصب الدهليزي والذي ينقل عادة الإشارات من التيه الدهليزي إلى الدماغ، بصورة مشابهة لغرسات القوقعة التي تعيد السمع عن طريق التنبيه الكهربائي لأجزاء من العصب السمعي. إن ربط الجهاز كهربائيا بالعصب سوف يتجاوز النظام الدهليزي المعيب.

يقوم التيه السليم بوظيفتين مهمتين. الأولى هي قياس أي اتجاه هو الأعلى وإلى أي جهة تتجه. أنت بحاجة إلى هذه المعلومات كي تقف وتمشي بصورة طبيعية. والثانية هي الإحساس بكيفية دوران رأسك. إنك تحتاج إلى هذه المعلومات لتبقي عينيك على الهدف. على سبيل المثال، كلما ترفع رأسك للأعلى يأمر التيه عينيك بالدوران للأسفل بالسرعة نفسها تماما مما يُبْقي، بالتالي، الصور ثابتة على الشبكية. ولولا هذا **المنعكس الدهليزي البصري**[1] لبدا العالم كما لو كنا نشاهد فيلما صُوّر بكاميرة ڤيديو مهتزة بيد صاحبها. هذا هو المنعكس الذي سوف يستعاض عنه بواسطة الأجهزة التعويضية المصممة، مما يعيد كثيرا من التوازن المفقود وليس كامل التوازن.

يقيس التيه الدهليزي دوران الرأس مستعملا ثلاث بنى مليئة بالسائل سُميت القنوات نصف الدائرية بسبب شكلها الذي يشبه طوق الرقص (الهولا هوپ). تتوضع القنوات نصف الدائرية في كل من الأذنين توضعا عموديا على بعضها بعضا بحيث تستطيع تسجيل دوران الرأس في الأبعاد الفراغية الثلاثة.

تقيس إحدى القنوات في كل أذن، على



سبيل المثال، الدوران في المستوى الأفقي. فإذا استدرت، فرضا، إلى اليسار فإن السائل داخل القناة يضغط على غشاء يمتد عبر إحدى نهايتي القناة ويثني استطالات تشبه الشعر تسمى **الأهداب** cilia المتوضعة في خلايا منغرسة في قاعدة البنية. ويطلق ثني الأهداب إشارات في العصب الدهليزي تصل إلى جذع الدماغ والمخيخ، وهي مناطق الشعور الحسي والتحكم الحركي والتي ترسل رسائل إلى العضلات التي تدير الرأس في اتجاه معاكس لاتجاه حركة الرأس.

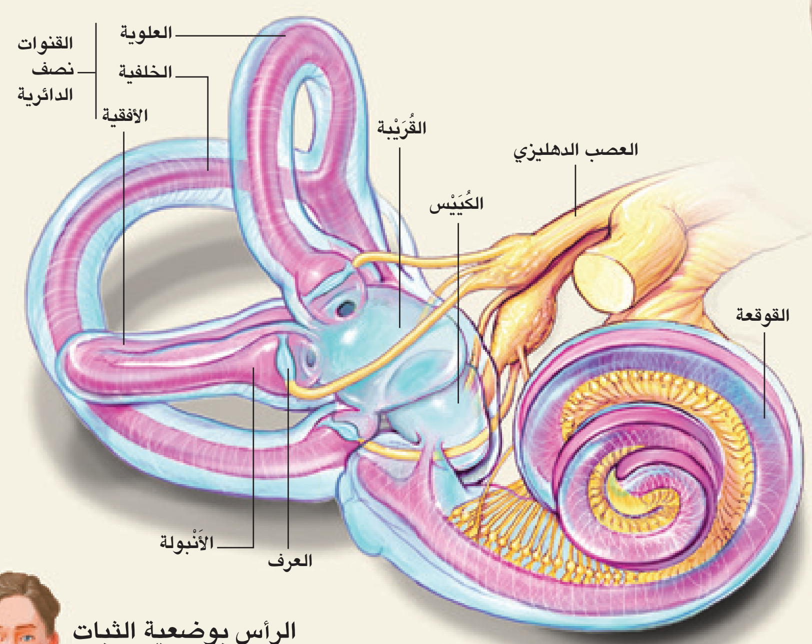
(*) Staying Upright and Steady

(1) vestibuloocular reflex

[قطع الغيار]

جهاز لاستعادة التوازن(*)

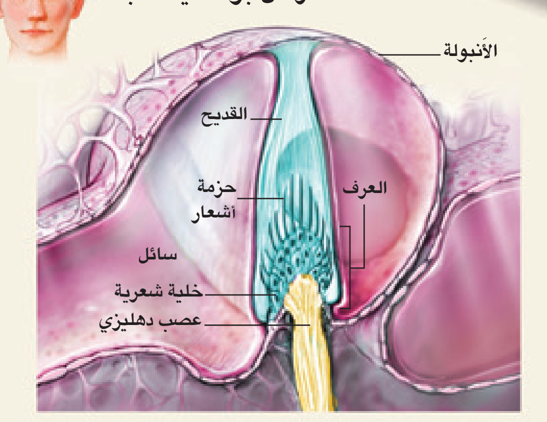
التيه الدهليزي ذو التركيب المعقد الموجود في الأذن الداخلية هو أساس التوازن؛ تسبب أذيته عدم الثبات وتشوش البصر. يحقق الباحثون تقدما نحو ابتداع جهاز اصطناعي تعويضي يمكن أن يعوض عن مثل هذه الأذية تماما مثلما تعوض الغرسات عن فقدان السمع بسبب تأذي القوقعة.



الأذن الداخلية: ليست فقط للسمع ◄

يشمل التيه الدهليزي ثلاثة تراكيب مليئة بالسائل تشبه طوق الرقص تسمى القنوات نصف الدائرية، يحتوي كل منها على بنية تسمى الأَنبولة **the ampullae** في إحدى نهايتيها. تستشعر الأُنبولة دوران الرأس في الأبعاد الثلاثة وتعتمد مثل المستشعرات الأخرى في الأذن الداخلية على خلايا متخصصة تترجم حركة السائل إلى إشارات عصبية. وتخبر بنى أخرى في التيه - القُرَيْبة والكُيَيْس - الدماغ بكيفية توجه الرأس نسبة للثقالة. وسوف يقوم الجهاز التعويضي الذي اقترحه المؤلف بوظيفة الأقنية نصف الدائرية.

الرأس بوضعية الثبات

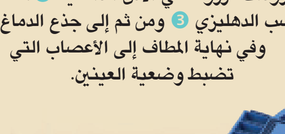


السير مع التيار ◄

عندما يكون الرأس ثابتا، يبقى السائل ضمن كل قناة نصف دائرية راكدا وتطلق ألياف العصب الدهليزي بمعدل ثابت (الصورة العليا). عند دوران الرأس (الصورة السفلى) يثني السائل في كل قناة نصف دائرية أفقية القديح **cupula** (غشاء مرن عبر القناة). تترجم خلايا شعرية هذه الحركة إلى إشارة كهربائية تنقلها الألياف إلى أجزاء أخرى من الدماغ. تثير هذه النبضات مُنعَكسات تدير العينين باتجاه معاكس لاتجاه حركة الرأس، مما يبقيهما مثبتتين على الهدف ويساعد على الحفاظ على توازن ثابت.

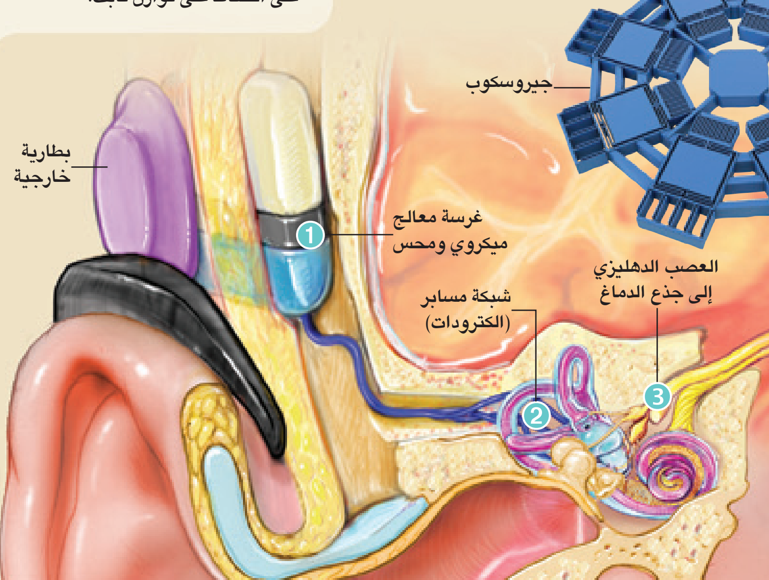
مساعدات التوازن: مجازة كهربائية ▼

يستعمل الجهاز التعويضي المقترح جيروسكوبا منمنما لاستشعار حركة الرأس يحل مكان العناصر الخربة في الأذن. ويقع الجيروسكوب ضمن وحدة تغرس خلف الأذن، ويتألف من عجلة كهرميكانيكية ميكروية هزازة (مصنعة باستعمال أسلوب الليثوغرافيا (الطباعة الحجرية) الضوئية المستخدم في تنميش شيبات **chips**). تميل العجلة قليلا عندما يتحرك الرأس مغيرة القُلطية في مواسعات (مكثفات) مجاورة موجودة ضمن الوحدة. يلتقط معالج ميكروي موجود ضمن الجيروسكوب التغير **1** ويرسل إشارات إلى إلكترودات مزروعة في الأذن الداخلية **2**، ومن ثم إلى جذع الدماغ تنقل المعلومات إلى العصب الدهليزي **3** وفي نهاية المطاف إلى الأعصاب التي تضبط وضعية العينين.



الرأس بوضعية الدوران





(*) A Device to Restore Balance

مجازة توازنية(*)

طورت مع زملائي في مختبر الهندسة العصبية الدهليزية بجامعة جونز هوپكنز إحدى الغرسات التي تهم <كانون> وجربناها على الحيوانات. يحتوي الجهاز على **جيروسكوب منمنم**[1] (ميكانيكي ميكروسكوبي) يقيس حركة الرأس في الأبعاد الثلاثة جميعها، ويرسل **معالجه الميكروي**[2] إشارات إلى مسابر تحرض ثلاثة أفرع من العصب الدهليزي. وتقدم إلكترونياتُ وتقنياتُ استشعار، جرى ابتداعها في أكثر من 120 000 غرسة قوقعية زرعت خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية، الأسسَ التقنيةَ لهذا الجيل الجديد من الغرسات العصبية مما يسرّع الانتقال من البحث العلمي إلى الاستخدام السريري.

نحن نزرع عادة في جهة واحدة فقط، لأننا نريد أن نحصر المخاطر الجراحية - مثل احتمال أذية بنى في الأذن الداخلية مسؤولة عن السمع - في أذن واحدة. نحن نعتقد، من خلال تجاربنا على الحيوان، أن الجهاز الذي يعوّض عن وظيفة مجموعة واحدة من القنوات نصف الدائرية سوف يؤمن للمريض الذي يعاني اضطرابا دهليزيا، ثباتا وتوازنا كافيين. قد تكون استعادة وظيفة بنى الأذن الداخلية التي تعمل حساسات للثقالة ممكنة أيضا لكنها غير ضرورية لتصحيح تشوش الرؤية الذي هو أكثر ما يزعج الذين فقدوا وظيفة الأذن الداخلية.



<R. كانون> أول متطوع لتركيب جهاز تعويضي، كان يعمل فنيا للأجهزة البخارية قبل أن يؤدي مرض أصابه قبل سبع سنوات إلى إعاقته.

عدا عن العمل الذي يُجْرى في جامعة جونز هوپكنز، هناك أيضا باحثون آخرون يطوّرون تقانة الغرسات الدهليزية. نشر <D. ميرفيلد> و<W. گونگ> وزملاؤهما في مستشفى ماساتشوستس للعين والأذن في بوسطن عام 2000 تقريرا عن أول جهاز تعويضي بديلا عن إحدى الأقنية نصف الدائرية الثلاثة، وأظهروا أن الحيوانات يمكن أن تتأقلم مع ما يصدره ذلك الجهاز. ويدرس <R. لويس> [من مستشفى ماساتشوستس للعين والأذن] أيضا إمكانية قيام الجهاز بتثبيت وضعية الجسم.

ومؤخرا، طورت مجموعة يقودها <J. O. فيليپس> [من جامعة واشنطن] جهازا يشبه **الناظم**[3] في محاولة للتغلب على الإصدار العصبي المفرط الذي يحصل أثناء هجمة الدوار التي يسببها داء مينيير. ويعمل <A. M. شكل> [من جامعة كاليفورنيا في إيرڤين] و<J. گيورگيو> [من جامعة قبرص] على دارة مدمجة لدعم هذا المشروع، في حين تطور مجموعة أخرى يقودها <C. وول> [من مستشفى ماساتشوستس للعين والأذن] أجهزة خارجية تساعد الجسم على الحفاظ على وضعية ثابتة له.

نظرا لإدراكنا الكامل للعجز الذي يعانيه <كانون> والمرضى الآخرون المصابون بإصابات مشابهة، فإن فريقنا في جامعة جونز هوپكنز يأمل بأن يبدأ بالاختبارات السريرية بمجرد أن نتغلب على العوائق الباقية التقنية والتنظيمية. فإذا جرى البحث كما هو مخطط له، فإن الآذان الحيترونية والتي تستعيد الحاسة السادسة المفقودة ستسمح أخيرا لمرضى مثل <كانون> بأن يستعيدوا إحساسا بالتوازن. ■

(*) A Balance Bypass

(1) miniaturized gyroscope

(2) microprocessor

(3) pacemaker؛ مولد نبضي يعمل على البطارية يزرع في جسد الإنسان لتوليد نبض سوي.

(4) cochlear implants

المؤلف

Charles C. Della Santina

*أستاذ مشارك في طب الأذن والأنف والحنجرة والهندسة الحيوية الطبية في كلية طب جامعة جونز هوپكنز التي يدير فيها أيضا مختبر الهندسة العصبية الدهليزية. يركز في ممارسته الجراحية على المرضى الذين يعانون اضطرابات دهليزية، وعلى استعادة السمع باستعمال **الغرسات القوقعية**[4]. ويركز بصفته باحثا على تطوير أجهزة تعويضية لعلاج الأشخاص المعاقين نتيجة لفقدان الإحساس الدهليزي.*

مراجع للاستزادة

Living without a Balancing Mechanism. John Crawford in *British Journal of Ophthamology,* Vol. 48, No. 7, pages 357–360; July 1964.

Gentamicin-Induced Bilateral Vestibular Hypofunction. L. B. Minor in *Journal of the American Medical Association,* Vol. 279, No. 7, pages 541–544; February 18, 1998.

A Multichannel Semicircular Canal Neural Prosthesis Using Electrical Stimulation to Restore 3-D Vestibular Sensation. Charles C. Della Santina et al. in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* Vol. 54, No. 6, pages 1016–1030; June 2007.

Johns Hopkins Vestibular Neuroengineering Laboratory: **www.hopkinsmedicine.org/otolaryngology/research/vestibular/VNEL**

Scientific American, April 2010

الطب النانوي يستهدف السرطان(*)

إذا نظرنا إلى جسم كل إنسان على أنه نظام يتألف من شبكات جزيئية تتفاعل مع بعضها، واستهدفنا مواطن الخلل في هذا النظام باستخدام تقانات ذات قياسات نانوية، فإن ذلك يدفعنا إلى إعادة النظر في كيفية فهمنا للمرض وفي كيفية مهاجمته، وربما في إمكانية الوقاية منه.

<J. R. هيث> - <M. E. ديفيز> - <L. هود>

مفاهيم مفتاحية

- إن أسلوب «النُّظُم» systems في الطب ينظر إلى الجسم باعتباره شبكة معقدة من تفاعلات جزيئية، يمكن قياسها، وعمل نماذج لها، لكشف أسباب الأمراض، مثل السرطان.
- وتستطيع الأدوات البالغة الصغر قياس الجزيئات والتعامل معها بتكلفة زهيدة لصالح طب النظم.
- وتوصِّل العلاجاتُ النانويةُ الأبعاد الأدويةَ التي تستهدف الأورام بدقة، في حين تتجنب النسج السليمة.

محررو ساينتفيك أمريكان

قبل الذهاب إلى قاعة التمارين الرياضية، أو بعد الإفراط في تناول الكعك في احتفال يقام في المكتب، فإن السكَّرِيِّين يمكنهم استخدام جهاز محمول لقياس الگلوكوز في دمهم بسرعة، فيعدلون طعامهم، أو يأخذون جرعة من الأنسولين، لتفادي حدوث ارتفاعات أو انخفاضات حادة في مستوى سكر الدم. إن الأجهزة الرخيصة الثمن لاختبار سكر الدم بوخز الإصبع والتي تتيح للسكريين فحص مستوى الگلوكوز طوال اليوم، قد تبدو كأنها وسيلة صغيرة الحجم لتأمين الراحة، فإذا لم تكن سكَّريًا، وإذا كنت تستطيع أن تعود بذاكرتك إلى عقد أو أكثر، فستتذكر أن الإصابة بالسكري كانت تترافق بالكثير من الخوف والتوجُّس، وبقدر أقل بكثير من التحكم في صحتك.

إن نوعية الحياة المتاحة للسكريين بواسطة التقانات التي يمكنها أن تستخلص المعلومات من الدم بسهولة وبتكلفة قليلة، تعطي انطباعا موجزا عما ينبغي أن يكون عليه الطب: أكثر قدرة على التنبؤ وعلى الوقاية، وأكثر تلبية للاحتياجات الشخصية لكل فرد على حدة، وإتاحة فرص أكثر لكل فرد لإسهام أكثر في الحفاظ على صحته. وفي الواقع، فإننا نعتقد أن الطب قد توجَّه بالفعل وبصورة عامة إلى هذا المنحى، بسبب التقانات الجديدة التي جعلت الحصول على معلومات بيولوجية وتحليلها بسرعة وبثمن زهيد أمرا ممكنا.

وأحد المفاتيح لهذا التطور في الطب هو الوصول إلى تصغير فائق في أبعاد الأدوات التقانية التي تستخدم كمية ضئيلة جدا من الدم للقياسات التشخيصية، أو تستخدم خلايا مفردة تؤخذ من نسج مريضة. ويمكن لهذه الأدوات الجديدة، والتي تقاس أبعادها بالميكرون والنانومتر، (وهو جزء من البليون من المتر)، أن تتعامل مع أعداد ضخمة من الجزيئات البيولوجية، وأن تقيسها بسرعة وبدقة، ومن ثم بتكلفة زهيدة لكل قياس، لاتتجاوز سنتات معدودة. وقد فتحت هذه التوافقات بين رخص التكلفة ورفعة الأداء طرقا جديدة لدراسة ومعالجة الأمراض، إذ سمحت بالنظر إلى جسم الإنسان كنظام ديناميكي يتألف من تفاعلات جزيئية. وعندما تُدمَج هذه القياسات التي أجريت على مستوى النُّظُم في نماذج حاسوبية، تتمكن تلك النماذج الحاسوبية، بدورها، من كشف أي مؤشرات مبكرة لمشكلة ما. وعند تجميع هذه التبصُّرات مع العلاجات المرتكزة على التقانة النانوية، فسيكون من الممكن أن يستهدف العلاج المشكلة، دون غيرها، ومن ثم يتفادى أي آثار جانبية خطيرة.

(*) NANOMEDICINE TARGETS CANCER

ومع أننا نتوقع أن الطب بمجمله سوف يعمل وفق هذه الأسس، إلا أن الأبحاث حول السرطان تَعْرِضُ، في الوقت الحالي، أمثلة عن الكيفية التي تقدم بها التقانة ذات الأبعاد المتناهية الصغر المعلومات اللازمة لرسم صورة كبيرة للمرض كما تراه النُّظُم.

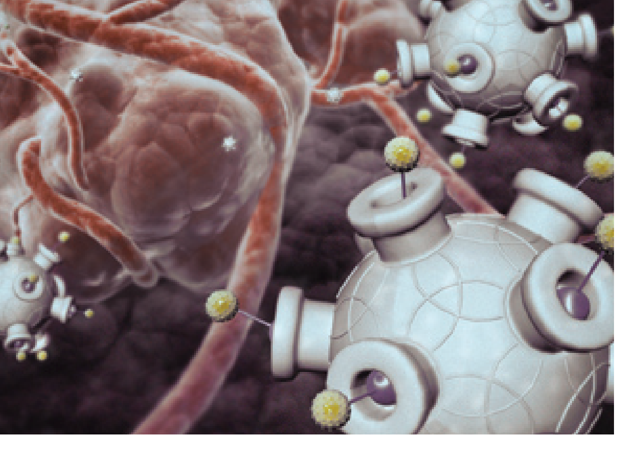
طب النُّظُم(*)

إن وضع نموذج لأحد النُّظُم يتطلب كمًّا هائلا من البيانات، والكائنات الحية تزخر بالمعلومات التي يمكن أن توصف بأنها رَقَميَّة، أي يمكن قياسها وتعيين كميتها وبَرْمجَتها لتكون نموذجا. ومثل هذه المعلومات البيولوجية تبدأ بأحد **الكودات الجينية لكائن**(1). إذ تحمل كل خلية في جسم الإنسان نسخة تامة من **جينومه** genome، وهو يتألف من ثلاثة بلايين زوج من قواعد **الدنا** DNA، وهي أحرف الأبجدية الجينية. وتكود هذه الأحرف قرابة 25 000 جين، تمثّل تعليمات لتشغيل الخلايا والنسج. وتُنْتَسَخ الجينات داخل كل خلية إلى شكل يسهل نقله، وهي قطع منفصلة من **الرنا** RNA المرسال، تحمل تلك التعليمات إلى جهاز خلوي، يقرأ الرنا، وتستخلص منه سلاسل من الأحماض الأمينية، وفقا للتعليمات **المكودة** encoded. وما تلبث سلاسل الأحماض الأمينية تلك، بدورها، أن تطوي نفسها لتشكل البروتينات، وهي الآلات الجزيئية الثلاثية الأبعاد التي تنفذ معظم وظائف الحياة.

وفي داخل أي نظام بيولوجي، مثل شخص ما، تُنقَل جميع هذه المعلومات، وتُعالَج وتُدْمَج وتُنفذ في النهاية، من خلال شبكات من البروتينات التي تتفاعل مع بعضها بعضا ومع جزيئات أخرى وثيقة الصلة بها داخل الخلايا. وعندما ننظر إلى النظام بأكمله على أنه شبكة من الأحداث التي تربط فيما بينها علاقات متبادلة، يكون بإمكاننا النظر إلى المرض باعتباره من العواقب التي تمخضت عن اضطراب في الأنماط الطبيعية المُبَرمَجة للمعلومات ضمن الشبكة. وقد يكون السبب الأَولِيّ خللا داخل النظام، مثل تغير عشوائي في الدنا يغيِّر إحدى التعليمات المكودة، أو أحد التأثيرات البيئية التي تمس النظام من الخارج، مثل الإشعاع فوق البنفسجي في ضوء الشمس، والذي يمكن أن يسبب تلفا في الدنا، والذي يؤدي إلى الورم الملاني (الملانوما) في النهاية. وبينما يتسبب الاضطراب المبدئي في موجات صغيرة من التأثيرات والارتجاعات؛ فإن أنماط المعلومات تستمر بالتغيُّر، وتفسر تلك الأنماط المعدلة تعديلا ديناميكيا ما يتسم به المرض من طبيعة ميكانيكية [*انظر الشكل في الصفحة التالية*].

ومن الطبيعي، أن يكون بناء نموذج حاسوبي دقيق لشبكة بيولوجية من هذا النمط مجهودا مرهقا، فهذه المهمة قد تتطلب الإدماج الحاسوبي لملايين أو أكثر من القياسات للرنا المرسال ولمستويات البروتينات، لكي نتمكن من فهم أعمق لديناميكيات تحوُّل النظام من الصحة إلى المرض. ومع ذلك، فإن نموذجا دقيقا (نموذجا يتمكن من التنبؤ بدقة بآثار الاضطرابات) قد يكون الأساس لتغيُّرات مثيرة في الطريقة التي نفهم بها المرض والصحة، وفي الكيفية التي نتناولهما بها من الوجهة الطبية.

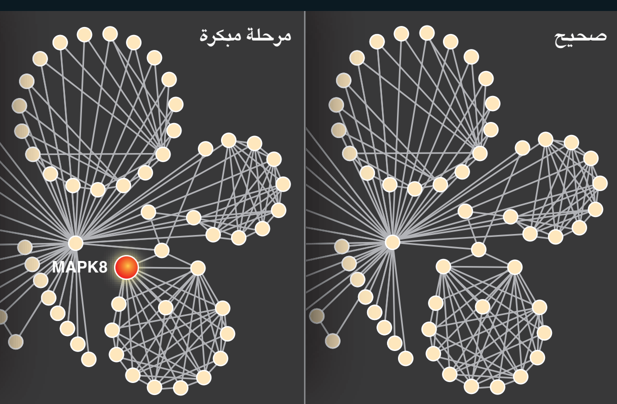
ومن الأمثلة على ذلك أن السرطان قد حظي على امتداد العديد من العقود السابقة بدراسات مكثفة أكثر مما حظيت به جميع الأمراض الأخرى، ومع ذلك، كانت الأورام تُميَّز نمطيا بصفات غير دقيقة إلى حد بعيد، تتضمن حجمها، وتوضُّعها في عضو أو في نسيج معين، وما إذا كانت الخلايا الخبيثة قد انتشرت من الورم الأولي. وكلما تقدم السرطان طبقا لهذه «المراحل» التشخيصية كان التكهن بتقدم المرض قاتما بالنسبة إلى المريض. ومع ذلك، فإن تلك الحكمة التقليدية

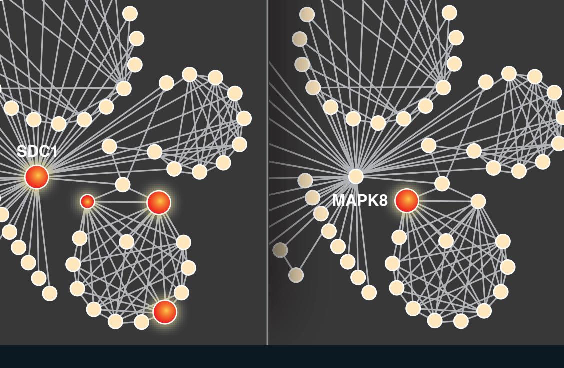


الجُسَيْمات النانوية والتي بنيت لنقل الحمولة العلاجية، مُرَصَّعَة ببروتينات تؤدي عمل المفاتيح، فتمكِّنها من الدخول إلى خلايا الورم.

(*) Systems Medicine

(1) an organism's genetic code





تحتوي خلايا البروستاته على مجموعات من البروتينات (*الدوائر المصمتة*)، والتي تتفاعل مع بعضها (*الخطوط*)، في شبكات صغيرة، وتصاحب التغيرات في المستويات الخلوية لبعض البروتينات تغيرات من الصحة إلى المرض. وتبدي خلايا سرطان البروستاته في المرحلة المبكرة زيادة في مستويات البروتين MAPK8 (وهو بروتين معروف بتنظيمه حركة الخلية). كما تكون مستويات البروتين SDC1 في خلايا السرطان في المرحلة الأخيرة أعلى بمقدار 16 مرة عما هي عليه في خلايا المرحلة المبكرة. و قد تعطي الكمية النسبية من هذين البروتينَيْن أدلة تشخيصية على وجود المرض وتفاقمه.

كانت تقدم العديد من التناقضات، فالمرضى الذين شُخصوا بسرطانات متماثلة وأُعطوا علاجات متشابهة من ذخيرة الإشعاع والمعالجات الكيميائية عادة ما كانوا يستجيبون بصورة متفاوتة، فمجموعة من المرضى قد تتمتع بالشفاء التام، في حين تموت المجموعة الأخرى سريعا.

كشفت القياسات الواسعة النطاق للرنا المرسال ولتركيزات البروتين داخل خزعات الأورام عدم كفاءة هذه الأساليب المعهودة في إظهار كيف أن سرطانين متماثلين ظاهريا في مريضين يتضمنان شبكات مضطربة بطرق مختلفة اختلافا مثيرا. واعتمادا على مثل هذا التحليل الجزيئي، فإن العديد من السرطانات التي كانت في وقت ما تُعتَبَر مرضا واحدا جرى تعرفها الآن كأمراض منفصلة.

إن ما يقرب من 80% من أورام البروستاته في البشر تنمو ببطء، حتى إنها لا تسبب ضررا للمصاب بها أبدا. أما بقية المصابين بها، فإنها سوف تنمو بسرعة أكبر وتغزو النسج المجاورة، وتنتشر إلى الأعضاء البعيدة أيضا، وفي النهاية تقتل المريض. ومجموعتنا البحثية تحاول حاليا أن تتعرف الشبكات التي يسبب المرض اضطرابها في خلايا البروستاته، وهي الشبكات التي تميز النمطين الرئيسين من السرطان، بحيث يتعرف الطبيب منذ البداية الموجود منها لدى المريض. فهذه المعلومة قد تعفي 80% من المرضى من جراحة غير ضرورية، أو من التعرض للإشعاع أو للمعالجة الكيميائية، فضلا عن الألم وسلس البول والعنانة التي تصاحب تلك المعالجات.

ونحن نحلل كذلك الشبكات داخل البروستاته التي تميز الأنماط الفرعية الأكثر غزوا من بين 20% من الحالات، وهي الأنماط التي قد تتطلب نُظُما علاجية متميزة. وعلى سبيل المثال، ولدى تحليل الشبكات المميزة للمرحلة المبكرة وسرطان البروستاته النقيلي، تَمَكَّنّا من تعرف بروتين يُفرز في الدم، وهو البروتين الذي يبدو وكأنه **واسم** marker ممتاز لتعرف السرطان النقيلي. والأدوات من هذا النوع التي يمكنها أن تُدْرِجَ مرضا معيَّنا مثل سرطان البروستاته ضمن نمط فرعي دقيق، قد تتيح للطبيب أن يقوم باختيار منطقي للعلاج الملائم لكل فرد على حدة.

اكتشاف المرض(*)

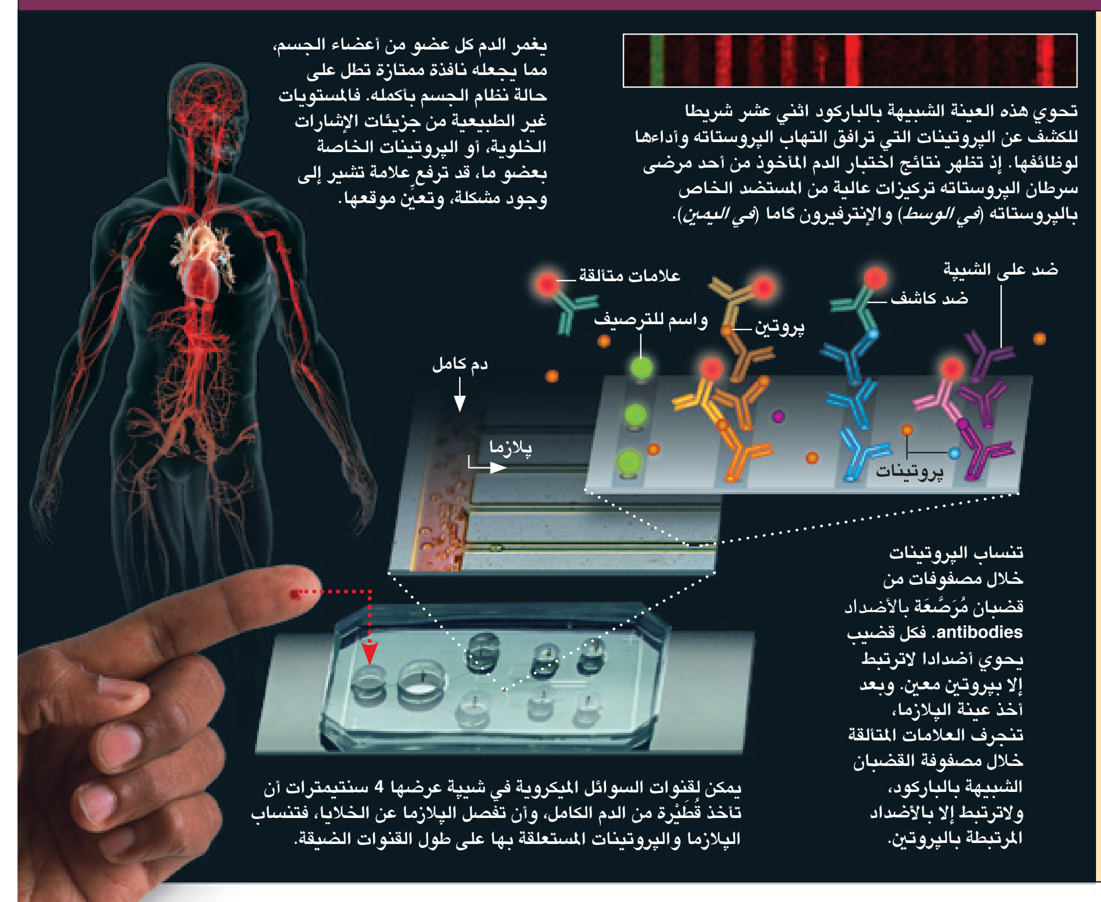
ومع أن مثل هذا التحليل للرنا المرسال والبروتينات المستمدة من النسج الورمية قد يكون غنيا بالمعلومات عن طبيعة نوع معروف من السرطان، فإن أسلوب النُّظُم قد يكون مفيدا أيضا في التمييز بين الصحة والمرض. فالدم يغمر كل عضو من أعضاء الجسم، ويحمل معه بروتينات وجزيئات أخرى، ومن ثم فإنه يوفر نافذة ممتازة تُطِل على نظام الجسم بأكمله. والقدرة على اكتشاف اختلال التوازن في بروتينات معينة أو في الرنا المرسال قد يفيد في إعطاء إشارات عن وجود مرض ما، وتحديد مكانه بدقة، فضلا عن طبيعته.

وتصدت مجموعتنا البحثية لتحدي

(*) Detecting Disease

سنتات معدودة مقابل كل بروتين(*)

إن المعلومات هي أغلى سلعة في أسلوب النُّظم في الطب، لذا كان على الاختبارات التشخيصية أن تقيس، بسهولة وبدقة، أعدادا كبيرة من جزيئات بيولوجية لقاء سنتات قليلة، أو لقاء ما هو أقل من ذلك، مقابل كل قياس. لقد سمح التصغير البالغ للمؤلفين ولزملائهم بأن ينتجوا نموذجا أوليا لشيبة بمقدورها أن تقيس مجموعة من البروتينات المرتبطة بالسرطان في قُطَيْرَة من الدم خلال 10 دقائق بتكلفة قدرها من 5 إلى 10 سنتات مقابل كل بروتين.



استخدام الدم في تقييم حالة نظام الجسم بالكامل، وذلك بمقارنة مجموعات الرنا المرسال التي تُنتَج في 50 عضوا أو أكثر من أعضاء الجسم المنفردة، ووجدنا أن كل عضو من أعضاء جسم الإنسان له 50 نوعا من الرنا المرسال أو أكثر، والتي تُنتَج بشكل رئيسي في هذا العضو فقط. وبعض أنماط هذا الرنا تكود بروتينات نوعية للعضو، تُفرَز في مجرى الدم، ويوضِّح مستوى كل منها العملية التي تتمّ في الشبكات التي تتحكم في إنتاجها داخل العضو. وعندما تضطرب هذه الشبكات بالمرض، تتغيَّر مستويات البروتينات المقابلة؛ ومن المؤكد أن هذه التغيرات تجعل تعرّف المرض ممكنا؛ لأن كل مرض يصيب أحد الأعضاء يسبب اضطرابا في الشبكات البيولوجية المتميزة من غيرها بطرق فريدة.

وإذا كان من الممكن تعيين مستويات مايقرب من 25 بروتينا في كل بصمة من هذه البصمات الخاصة بالعضو، فلابد أن تحليلا حاسوبيا يجعل اكتشاف جميع الأمراض ممكنا بتحديد أي الشبكات قد لحقها الاضطراب، وذلك انطلاقا من قياسات تُجْرى على الدم فقط. ويمكن لهذا الأسلوب أن يحقق ما هو أكثر من الكشف المبكر، مع أن الكشف المبكر شديد الأهمية في السرطان، فهو قد يتيح إمكانية تقسيم مرض ما لدى أحد المرضى إلى أنماط فرعية مختلفة، وإمكانية متابعة تقدم المرض، ومتابعة استجابة المريض للمعالجة. وقد قدمنا برهانا أوليا على هذا المبدأ بتتبع تطور المرض **البريوني** Prion في الفئران.

فقد قمنا بحقن الفئران ببروتينات البريونات المسببة للعدوى، والتي تؤدي إلى مرض تنكسي في الدماغ قريب الصلة «بمرض جنون البقر»، ثم قمنا بتحليل جميع مجموعات الرنا المرسال في أدمغة الحيوانات المصابة بالعدوى، والحيوانات الشاهدة،

إن اختلال التوازن في بعض البروتينات أو الرنا المرسال قد يفيد في إعطاء إشارة عن وجود مرض ما، كما يحدد بدقة مكانه وطبيعته.

(*) PENNIES PER PROTEIN

[الأساسيات]

التقانة النانوية في الطب(*)

بمقياس يبلغ نانومتر (واحد إلى بليون من المتر) يمكن للمواد وللأدوات أن تتفاعل مع الخلايا والجزيئات البيولوجية بطرق فريدة. والتقانات ذات المقياس النانوي التي استُخْدمتْ - بالفعل - في الأبحاث وفي العلاجات تتراوح عموما ما بين 10 نانومتر (حجم پروتين الضد) و100 نانومتر (حجم ڤيروس). وهذه الأدوات والجُسَيْمات تستخدم حاليا كمسابير لكشف وجود الجزيئات مثل الپروتينات أو الدنا، وكمعزِّزات للتصوير، وكوسائل لاستهداف نسج نوعية، ولتوصيل العوامل العلاجية.

أداة نانوية

0.01 نانومتر	1	10	100	1.000	10.000	100.000
	غلوكوز	ضد	ڤيروس	بكتيرية	خلية دم حمراء	قُطر شعرة

التقانة النانوية	الاستخدام	كيف تعمل
الأسلاك النانوية	الإحساس	سلك موصِّل، سماكته ما بين 10 إلى 20 نانومترا، يُرْبَط عبر القناة التي ستمر خلالها العينة. للكشف عن الپروتينات أو عن الدنا، تُصنع المسابير من أضداد تكميلية أو من الدنا، وترتبط بكل سلك. وعندما يقابل أحدُ الپروتينات الضدَّ الموافق له، فإنه يرتبط بالمسبار، ويغير الخواص التوصيلية للسلك، مما يسمح باكتشاف الحدَث كهربائيا.
الدعامات	الإحساس	مسابير جزيئية مثل الدنا الوحيد الطاق[1]، يمكن أن ترتبط بحزم لا تتجاوز سماكتها بضعة نانومترات قليلة. وعندما تتعرض الطيقان المتكاملة لعينة دنا، ترتبط الطيقان المندمجة في المسبار الموجود على الدعامة، فتسبب انحناء الحزمة انحناء قليلا. ويمكن كشف هذه الاستجابة بصريا أو بالتغيُّر في التوصيل الكهربائي للحزمة.
النقاط الكمومية	التصوير	بلورات نانوية مصنوعة من عناصر غير عضوية مثل الكادميوم والزئبق ومكسوة باللاتكس أو بمعدن ما، تستجيب للضوء بإصدار تألق بأطوال موجية مختلفة وفقا لتكوينها. والأضداد المرتبطة بالبلورات يمكنها أن تسبب ارتباط النقاط بنسيج منتقى (مثل ورم ما)، وعندها يمكن رؤية الورم بسهولة أكثر بأدوات التصوير التقليدية.
القشرات النانوية	استهداف النسج والتصوير	كريات نانوية صلبة من السيليكا، تُغلَّف أحيانا بطبقة رقيقة من الذهب، تسافر عبر مجرى الدم، دون أن تدخل معظم النسج السليمة، ولكنها تميل إلى التراكم في النسج الورمية. ويمكن ربط الجزيئات العلاجية بالكرات، أو بمجرد تجمع عدد كبير من القشرات النانوية في ورم ما، إذ إنها ستمتص الحرارة التي تسلط على الورم فتقتل النسيج. ويمكن أيضا للقشرات النانوية أن تمتص أو أن تشتت الضوء، وفقا لتركيبها، ومن ثم تعزز تصوير الورم الذي يتم باستخدام أنواع معينة من التنظير الطيفي.
الجُسَيْمات النانوية	استهداف النسج وتوصيل المواد	يمكن بناء الجُسَيْمات المركبة من مواد متنوعة لتحوي في نواتها جزيئات علاجية، ولتحررها في الزمن والمكان المرغوب فيهما. وتتضمن وسائط التوصيل هذه قشرات دهنية بسيطة يمكنها أن تتسرب تسربا لافاعلا خلال جدران أوعية الورم الدموية، لتحرر عقار معالجة كيميائية تقليدية داخل النسيج ببطء. والجُسَيْمات النانوية الأحدث أكثر تعقيدا في تصميمها، إذ تتضمن عناصر خارجية، مثل الأضداد، لاستهداف پروتينات خاصة بالورم، ومواد تقلل من تفاعل الجُسَيْمات مع النسج السليمة إلى أقل قدر ممكن.

في 10 نقاط زمنية مختلفة، من بداية ظهور المرض. ومن هذه المعلومات تعرفنا 300 رنا مرسال متغير، وهي التي تكود الاستجابة المرضية الأساسية للپريون، وينتمي نحو 200 رنا مرسال منها إلى 4 شبكات بيولوجية، وهي الشبكات التي تفسر نظريا كل مظهر من مظاهر المرض، إلى جانب نحو 100 رنا آخر تصف جوانب أخرى للمرض الپريوني لم نكن نعرفها من قبل. ودراسة تلك الشبكات التي اضطربت بسبب المرض سمحت لنا بتعرف 4 پروتينات في الدم تمكننا من التنبؤ بوجود المرض الپريوني قبل ظهور أية أعراض ظاهرة له، ومن ثم يمكن أن تفيد كواسمات تشخيصية قبل ظهور الأعراض، وفي ذلك مزايا واضحة للطب الوقائي.

وقد تطلبت هذه الدراسات إجراء 30 مليون قياس، وتطوير سلاسل من البرمجيات لتحليل ودمج، وأخيرا بناء نماذج لهذه المقادير الهائلة من المعلومات. ويتطلب بناء نماذج لشبكة التنبؤ بأحد الأمراض، وتحويل هذه النماذج إلى أدوات مفيدة طبيا، توافُر طرق سريعة وحساسة ورخيصة التكاليف، وهو الأمر الأكثر أهمية، لسَلْسَلَة الدنا، وقياس تركيزات الرنا المرسال والپروتينات.

قياس الجزيئات(**)

لاحظ العديد من العلماء أن التقدم التقاني المُحْرَز في سَلْسَلَة الدنا كان تجسيدا **لقانون مور** Moore's law **للمُعالجات الميكروية** microprocessors، الذي ينَصُّ على أن عدد العناصر الوظيفية التي يمكن تحميلها على إحدى **الشيپات (الرقاقات)** chips منسوبا إلى وحدة التكلفة يتضاعف مرة كل 18 شهرا، وذلك على امتداد العقود العديدة الماضية. وفي الواقع، فإن الجيل القادم من الآلات التي تُستَخْدم لسَلْسَلَة الدنا تزيد من سرعة قراءة الدنا بمعدل أسرع مما ينصُّ عليه قانون مور. وعلى سبيل المثال، فإن أول جينوم بشري

(*) NANOTECH IN MEDICINE
(**) Measuring Molecules
(1) single-stranded DNA

استغرق ما بين 3 و 4 سنوات لتكتمل سَلْسَلَته، وبلغت تكلفتــه 300 مليون دولار. ونحن نعتقد أنــه خلال 5 إلى 10 ســنوات لن تزيد تكاليف سَلْسَــلَة الجينوم البشــري على 1000 دولار (بتكلفة أقل مماســبق بمقدار 000 300 مرة)، ولن تســتغرق أكثر من يوم واحد. ومع توغلنا في العقد القادم، فإن تطــورات مماثلة تُحْرَز فــي التقانات الطبيــة البيولوجية ذات الصلة بذلك ستســمح بنهوض الطب التنبئي والطب الذي يعدَّل ليلبِّي الاحتياجات الشخصية لكل فرد على حدة.

وفي الوقت الحالي، يكلِّف إجراء اختبار لقياس بروتين سرطاني واحد مثل المستضد النوعــي للبروســتاته، فــي دم مريض في المستشفى نحو 50 دولارا. ونظرا لأن الطب المعتمد على النظم ســوف يتطلب قياســات لأعداد كبيرة من مثــل هذه البروتينات، فإن التكلفة لابد أن تنخفض انخفاضا ملحوظا. ويعتبــر الزمن الذي يتطلبــه القياس أيضا تكلفة، لأن اختبارا للدم قد يستغرق في الوقت الحاضر من بضع ساعات إلى بضعة أيام، ويعود ذلك جزئيا إلــى كثرة الخطوات التي نحتاج إليها لفصــل مكونات الدم، (الخلايا والبلازمــا والبروتينات والجزيئات الأخرى) قبل أن نجرب القياس لكل مُكَوِّن باستخدام اختبارات تختلف في دقتها.

والتصغيــر البالغ قد يــؤدي إلى تعزيز الدقة، وإلى الحصول على القياســات بزمن أســرع بصورة ملحوظــة مقارنة بما يمكن إنجازه باستخدام التقانات الحالية. إذ أثبت العديد من التقانات التي تعمل على مستويات قياس الميكرو أو النانو قيمتَها الفعلية كأدوات بحثية لجمــع المعلومات اللازمة لتكوين رؤية لنظم المعلومات البيولوجيــة. ومع ذلك، فإن استخدام هذا الأســلوب في رعاية المرضى ســوف يتطلب ألا تتجاوز تكاليف كل قياس لأحد البروتينات أكثر من بضعة ســنتات – الأمر الذي يســتبعد أن تستوفيه العديد من التقانات النانوية الناهضة.

وقــد طور اثنان منا (<هيث> و <هود>) شــيبة عرضهــا 4 ســنتيمترات تقيــس مســتويات البروتينات فــي قُطَيْرة من الدم، باستخدام شكلٍ آخر مُصَغّر تصغيرا بالغا من اســتراتيجيّات كشف البروتين المعهودة [*انظــر ما هو مؤطر في الصفحة 21*]. وهذه الشــيبة مصنوعة من الزجاج والبلاســتيك والكواشــف فقــط، ومن ثم فهــي رخيصة الثمن في إنتاجها، وجهازنا يســتقبل نحو 2 ميكرولتر من الــدم، ويفصل الخلايا عن البلازما، ثم يقيس مجموعة مؤلفة من بضعة عشر بروتينا في البلازما، ويتم ذلك كلّه خلال دقائق قليلة من جمع الدم. والتكلفة المتوقعة لاستخدام النسخة الأولية قد تبلغ من 5 إلى 10 ســنتات لكل بروتين يتم اختباره، ولكن عند اكتمال تطويرها، فإن هذه التقانة يجب أن تكون قادرة علــى تلبية متطلبات التكلفة لطب النظم.

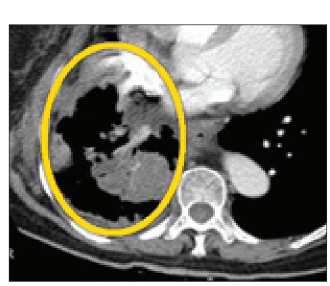
وســيتطلب توسيع قدرات الشيبة لقياس مئــات الآلاف من البروتينــات بعض الوقت، إلا أن التقدم في تصميم السوائل الميكروية، وفي علوم الكيمياء السطحية، وفي القياسات يســد الفجوة سريعا بين ما هو ممكن اليوم، وما هو مطلوب منا لبلوغ الطب التنبئي والطب المعنــي بتلبية الاحتياجات الشــخصية لكل فرد على حدة. فقد طور زميلانا من الجامعة «كالتك» وهما <S. R. كويك> و <A. شــيرر> نظاما للســوائل الميكروية يدمج الصمامات والمضخات في الشــيبة، وتســمح أعمالهما في حقل **الســباكة المُصَغَّرة تصغيرا بالغا** miniaturized plumbing بتوجيه الكواشــف الكيميائية والجزيئــات البيولوجية والعينات البيولوجية توجيها دقيقا نحو حُجْرَة واحدة من بين عــدد كبير من الحُجُرات المســتقلة على الشــيبة، علما بــأن كل حُجْرة من تلك الحُجُرات تمثل قياســا منفصلا ومستقلا. وبذلــك، فــإن وجهــات نظرهما قــد حولت المختبر الموجود على شيبة واحدة إلى العديد من المختبرات على شــيبة واحدة، مع توفير طُرُق إضافية، للوصول إلى المزيد من خفض تكاليف القياسات البيولوجية.

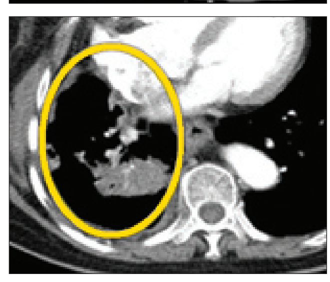
وللتقانــات البالغــة الصغر آثــار مهمة،

ويمكن للتقانة النانوية أن تخفض كمية كل عقار نحتاج إليه لعلاج سرطان ما تخفيضا جذريا.

في الهدف

معالجة نانوية تجريبية باستخدام الجسيم IT-101، يتم فيها تغليف عقار المعالجة الكيميائية، **كامبتوثيسين** camptothecin، داخل جُسَيْم نانوي مصمم ليجول لفترة ممتدة في مجرى الدم، وليتراكم في الأورام. في تجارب السلامة التي أجريت على البشر، شوهدت بَيِّنات على فعالية العلاج في بعض المرضى المصابين بالسرطانات المتقدمة. ويوضح المسح المقطعي المُحَوْسَب أسفل هذه الفقرة صورا لمقاطع متوسطة للمريض، يظهر فيها ورم كبير في الرئة (الكتلة الرمادية اللون والمحاطة بدائرة في الأعلى) قبل العلاج بالجسيم IT-101، وبعد 6 أشهر من العلاج به (في الأسفل)، عندما انكمش الورم بقدر ملحوظ.





تماثل في أهميتها ما للوقاية وما للمكافحة. فالتبصُّرات داخل الشبكات المريضة قد تقدم في النهاية أهدافا لعلاجات جديدة ومبتكرة، تستطيع إعادة ديناميكيات الشبكة إلى حالتها الطبيعية. وفي عبارة أقصر، فإن الرؤية التي تقدمها النظم قد تساعد على توجيه العقاقير

[دراسة حالة]

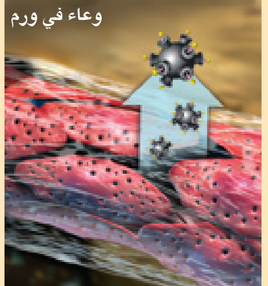
صممت للتوصيل(*)

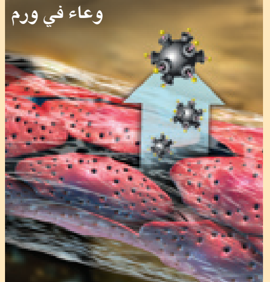
يوضح الجُسَيْم النانوي العلاجي التجريبي الذي يسمى CALAA-01 بعض الميزات التي يمكن أن توفرها هذه العوامل. فإضافة إلى أن لدى الجُسَيْمات النانوية ميلا طبيعيا إلى التراكم في الورم، فإن من الممكن أن تُصَمَّم لأن تأوي إلى مستقبلة واحدة أو أكثر من المستقبلات التي يشيع وجودها على الخلايا السرطانية. ونمط دخول الجُسَيْمات إلى الخلايا لهذه الجُسَيْمات يسمح بتفادي المضخات الخلوية التي تطرد بعض العقاقير.



بنية تعدَّل حسب الطلب
يتم بناء الجُسَيْمات من مواد متناسقة بيولوجيا، وهي بوليمر يحوي أحد الدكسترينات الحلقية (CDP)(1) مع سيقان من كليكول متعدد الإثيلين (PEG)(2) ترتبط بها بروتينات الترانسفيرّين (Tf)(3). وفي الداخل يتم تخزين عدد يصل إلى 2000 جزيء من جزيئات طيقان الرنا المُسكتة للجينات (siRNA)(4) (الأدوية الفعالة).

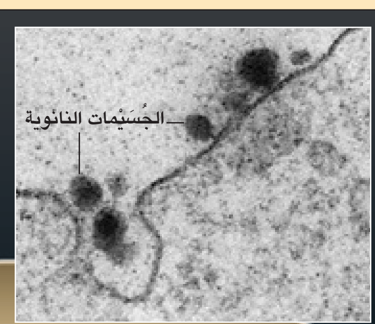


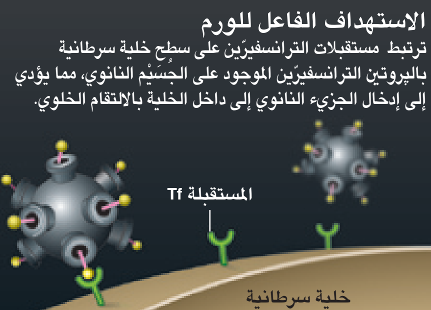




الاستهداف السلبي للورم
عندما تجول الجُسَيْمات في مجرى دم المريض، فإنها تجول بحرية، ولكنها لا تستطيع اختراق أغلب جدران الأوعية الدموية. أما الأوعية الدموية للورم، فتعاني التسرب بصورة غير طبيعية، ولها ثقوب واسعة تسمح للجُسَيْمات النانوية بالمرور خلالها، وبالتراكم في نسيج الورم.

الاستهداف الفاعل للورم
ترتبط مستقبلات الترانسفيرّين على سطح خلية سرطانية بالبروتين الترانسفيرّين الموجود على الجُسَيْم النانوي، مما يؤدي إلى إدخال الجزيء النانوي إلى داخل الخلية بالالتقام الخلوي.





تحرير منضبط
بمجرد أن يدخل المَجَسّ الكيميائي الموجود ضمن الجُسَيْم النانوي إلى داخل الخلية، فإنه يستجيب لدرجة الحموضة (pH) المنخفضة داخل حويصلة الالتقام الخلوي، وفي وقت واحد يقوم بتفكيك الجُسَيْم النانوي، وبتحرير جزيئات الطيقان siRNA التي تُثَبِّط تعليمات أحد الجينات، فتحول دون أن يُترجم إلى بروتين تحتاج إليه الخلية السرطانية لتبقى حية.

المتاحة إلى أهدافها بكفاءة أعلى كثيرا، بتحقيق التوافق الأمثل من توليفات الأدوية لكل مريض. وفضلا عن ذلك، فإن التقانة النانوية قد تُخفّض تخفيضا جذريا الكمية المطلوبة من كل دواء لعلاج السرطان.

ضئيلة المقدار ومُوَجَّهة إلى أهدافها(**)

وتعتبر المستحضرات الدوائية للجُسَيْمات النانوية صغيرة الحجم إذا قورنت بمعظم الأشياء، ولكنها تعتبر كبيرة الحجم إذا قورنت بالجزيئات، وسيؤدي العمل وفق هذا المقياس إلى بلوغ مستوى غير مسبوق من السيطرة على سلوك الجسيمات العلاجية داخل الجسم، وتتراوح أحجام الجزيئات النانوية ما بين 1 و 100 نانومتر، ويمكن تجميعها من العوامل العلاجية المتنوعة الموجودة، مثل أدوية المعالجات الكيميائية، أو **طيقان الرنا المُسكتة للجينات** (siRNA)(4).

وقد تُغَلَّف هذه الشحنات ضمن مواد مُخَلَّقة، مثل البوليمرات أو **الجزيئات الشبيهة بالدهون** lipidlike molecules، ويمكن إضافة عوامل مُوَجِّهة إلى أهدافها، مثل الأضداد وغيرها من الجزيئات المُصمَّمة للارتباط ببروتينات خلوية نوعية على سطح الجُسَيْمات. وتطبيق هذا النموذج يجعل مستحضرات العلاجات النانوية بصورة خاصة أكثر قدرة على الحركة، كما يجعلها قادرة على أداء الوظائف المعقدة، في المكان الصحيح وفي الوقت الصحيح، داخل جسم المريض.

ويتمثل أحد أكبر التحديات التي تواجه تطوير واستخدام أدوية السرطان بتوصيلها إلى النُّسج المريضة من دون تسميم سائر جسم المريض. إن الحجم وحده يضفي إلى جُسَيْمات المستحضرات العلاجية النانوية البسيطة صفات خاصة تحدد حركتها

(*) DESIGNED TO DELIVER
(**) Tiny and Targeted
(1) cyclodextrin containing polymer
(2) polyethylene glycol
(3) transferrin proteins
(4) gene-silencing RNA

داخل الورم وفي كل مكان فيه. فالجُسَيْمات النانوية الأصغر من 10 نانومتر، والتي يطلق عليها **الأدوية الصغيرة الجزيئات**[(1)]، يتم إزالتها بسرعة عبر الكلية، والجسَيْمات الأكبر من 100 نانومتر تواجه صعوبات في حركتها ضمن الورم، أما الجُسَيْمات التي تتراوح أحجامها بين 10 و 100 نانومتر، فإنها تسافر في جميع الأماكن عبر مجرى الدم بحثا عن الأورام، مع أنها لاتستطيع التسلل إلى معظم النسج الصحيحة من خلال جدران الأوعية الدموية. ولأن الأورام لها، في المقابل، أوعية دموية ذات جدران غير طبيعية، إذ تكثر فيها الثقوب الكبيرة حتى تبدو مثل الغربال، فإن الجُسَيْمات النانوية تستطيع أن تتسرب إلى النسيج الورمي المحيط بها. ونتيجة لذلك، فإن الجسَيْمات النانوية تميل إلى التراكم في الأورام، في حين يتضاءل تأثيرها في الأجزاء الأخرى من الجسم، فتسلم هذه الأجزاء من الأعراض الجانبية التقليدية السيئة لأدوية السرطان.

وحتى عندما يتمكن دواء معياري من الوصول إلى الخلايا الورمية، فإن بروتينات مضخة الخلية قد تلفظه من الخلية، قبل أن تتاح له فرصة العمل، وهذه إحدى الآليات الشائعة لمقاومة الأدوية. أما الجزيئات النانوية؛ فتدخل خلية عن طريق **الالتقام الخلوي**[(2)] وهي عملية طبيعية تصنع جيبا من غشاء الخلية حول الشيء لتسحبه داخل الخلية، فتحمي ما يحمله الجُسيم من المضخات الخلوية [*انظر ما هو مؤطر في الصفحة المقابلة*].

وبعض علاجات السرطان التي تُصنف في الوقت الحاضر على أنها جُسَيْمات نانوية، موجودة منذ بعض الوقت، وهي توضح بعض المزايا الأساسية للجُسَيْمات النانوية في الوصول إلى خلايا الورم، مع التقليل من تأثيرها في النسج الصحيحة إلى أقل قدر ممكن. فجُسَيْمات **الدوكسوروبيسين الشحمية** liposomal doxorubicin، على سبيل المثال، هي مركب علاجي كيميائي تقليدي يتم تغليفه بقشرة شحمية، ويُستخدم في علاج سرطانات المبيض وورم النقي المتعدد. والنسخة

علاجات ذات قياسات نانوية[(*)]

تتضمن الجُسَيْمات ذات القياسات النانوية والمُصَمَّمة لعلاج السرطان عقاقير تُستخدم بالفعل، مثل النسخة المُغَلَّفة بالجُسَيْم الشحمي liposome–encased من الدواء الكيميائي الدوكسوروبيسين، إضافة إلى ضروب من التوليفات التجريبية من جزيئات البوليمر مع العقار، والتي تمزج فيها جزيئات البوليمر بالعقار، أو تربط ربطا مشتركا كيميائيا داخل الجُسَيْمات النانوية (مركبات ومقترنات ومُذَيْلات وغُصَيْنات). وتحمل الجُسَيْمات المُوَجَّهة إلى أهدافها والأكثر حداثة ملامح تزيد من انجذابها إلى الخلايا السرطانية وتسهل دخولها فيها.

نوع الجُسَيْم	مرحلة التطوير	أمثلة
جُسَيْم شحمي	موافقة FDA	DaunoXome, Doxil
أساس البوميني	موافقة FDA	Abraxane
مُذَيْلات بوليمرية	تجارب سريرية	Genexol-PM, SP1049C, NK911, NK012, NK105, NC-6004
مقترنات للبوليمرات مع العقار	تجارب سريرية	XYOTAX (CT-2103),CT-2106, IT-101, AP5280, AP5346, FCE28068 (PK1), FCE28069 (PK2), PNU166148, PNU166945,MAG-CPT, DE-310, Pegamotecan, NKTR-102,EZN-2208
جُسَيْم شحمي مُوَجَّه إلى هدفه	تجارب سريرية	MCC-465, MBP-426, SGT-53
جُسَيْمات لها أساس بوليمري مُوَجَّهة إلى هدفها	تجارب سريرية	FCE28069(PK2), CALAA-01
جُسَيْمات صلبة غير عضوية أو معدنية	تجارب سريرية (الذهب) وقبل سريرية	أنابيب كربونية نانوية و جُسَيْمات سيليكا وجُسَيْمات ذهب (CYT-6091)
غصينات	قبل سريرية	Polyamidoamine (PAMAM)

المغلَّفة بالشحم من هذا العقار لها آثار سمية في القلب أقل بكثير مما للدوكسوروبيسين الذي يعطى منفردا، في حين لوحظ أن لها تأثيرا جانبيا جديدا، هو سميتها للجلد.

والجسَيْمات النانوية الأحدث [ومنها على سبيل المثال جسيم يعرف باسم IT-101، وقد اجتاز مرحلة السلامة، في المرحلة التجريبية الأولى على البشر] لها تصاميم أكثر تعقيدا، وتوفر وظائف متعددة، فحجم الجسَيْم النانوي IT-101 يبلغ 30 نانومترا، وهو مركب من بوليمرات ترتبط بالجزيء الصغير الحجم من دواء **الكامبتوثيسين** camptothecin، وهو دواء قريب الصلة بعقارَيْن يستخدمان في المعالجة الكيميائية، حصلا على الترخيص من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA وهما: **الإيرينوتيكان** irinotecan و**التوبوتيكان** topotecan. وجزيئات الجسيم IT-101 مصممة لتجول في دم المريض، ولتبقى فيه لمدة أكثر من 40 ساعة،

(*) NANOSCALE THERAPIES
(1) small-molecule drugs
(2) endocytosis

في حين لايجول الكامبتوثيسين نفسه في الدم أكثر من دقائق قليلة فقط. ومدة الدوران الطويلة هذه تتيح الوقت اللازم لكي يتسرب الجسيم IT-101 داخل الورم ويتراكم هناك، وبعد ذلك تدخل الجُسَيْمات إلى خلايا الورم، وتحرر الكامبتوثيسين ببطء لتعزيز فعاليته. وفي الوقت الذي ينطلق فيه العقار، تتفكك بقية الجُسَيْمات النانوية، وتخرج جزيئات البوليمر المنفردة عن طريق الكليتين من الجسم من دون إلحاق الضرر به.

وفي التجارب السريرية، أمكن الوصول إلى جرعات من العقار توفر جودة عالية من الحياة من دون الآثار الجانبية، مثل القيء والإسهال وفقدان الشعر، والتي تعتبر نمطية في المعالجات الكيميائية، ومن دون أعراض جانبية جديدة. وتعتبر الجودة العالية للحياة العامة أثناء تلقِّي العلاج أمرا مثيرا، ومع أن تجارب المرحلة الأولى تركز على ترسيخ السلامة، فإن الاختبارات قد قدمت البيِّنات على أن العقار كان فعّالا لدى المرضى [*انظر ما هو مؤطر في الصفحة 23*]. وهذا أمر مشجِّع، لأن مرضى السرطان في المرحلة الأولى التجريبية كانوا قد تلقوا العديد من الدورات العلاجية المعيارية، والتي فشلت قبل دخولهم التجربة، وبعد استكمال التجربة التي استغرقت 6 أشهر، استمر العديد من هؤلاء المرضى بتناول العقار، على أساس من التعاطف. وكان من بين الذين نجوا لمدة طويلة تصل إلى العام مرضى لديهم سرطانات متقدمة في الرئة والكلية والپنكرياس.

ونظرا لأن ملف الآثار الجانبية لهذا العقار ضئيل جدا، فإنه سيتم اختباره في المرحلة التجريبية الثانية، وهي مرحلة الفاعلية أو النجاعة، في نساء تم تشخيص أورام المبيض لديهن، وقد سبق لهنّ أن خضعنَ لمعالجة كيميائية. وبدلا من مجرد «انتظار ومراقبة» السرطان وهو يتفاقم، فإن الجسيم IT-101 سيُعطى لهنّ كعلاج مداومة، أملا في منع تقدم المرض. وهذه الملاحظات المستمدة من اختبار الجسيم IT-101، إلى جانب الأخبار المشجعة عن تجارب أجريت على علاجات أخرى مرتكزة على الجُسَيْمات النانوية، بدأت بتقديم صورة لما قد يكون ممكنا مع العلاجات النانوية الجيدة التصميم، وبالفعل فإن الجيل التالي من الجُسَيْمات النانوية المُخَلَّقة، والتي هي أكثر تعقيدا من غيرها بكثير، تقدم لمحة عن الإمكانات الحقيقية لهذه التقانة، وعن أهمية ما تقدمه تلك الأدوية للرؤية المرتكزة على النُّظُم للأمراض وللمعالجات.

وفي عام 2008، بدأت شركة كالاندو Calando للمستحضرات الصيدلانية، في پاسادينا بولاية كاليفورنيا بإجراء تجارب حول نظام لتوصيل الطيقان siRNA، وهو نظام ابتكره واحد منا (وهو <ديڤيز>)، ويعطي مثالا عن الأسلوب الأحدث. فالپروتينات الموجودة على سطح الجُسَيْمات تستهدف مستقبلات نوعية توجد بتركيزات عالية على سطح الخلايا السرطانية، وما أن تدخل الجُسَيْمات إلى الخلية حتى تحرر جزيئات الطيقان siRNA والتي صُمِّمَت لتلائم جينا نوعيا يستأثر بالاهتمام، فتُثَبِّط تصنيع البروتين الذي يكوّده هذا الجين.

ومع ذلك، فإن المعالجة النانوية المتعددة الوظائف ما هي إلا بداية القصة، فبمجرد توطيد مبادئ وظيفة الجُسَيْمات النانوية في البشر توطيدا تاما، فإن هذا المفهوم يمكن تطبيقه لإيجاد نظام علاجي يستطيع حمل توليفات من العقاقير، ولكل منها معدلات إطلاق معدَّلة لتلائم الاحتياجات. فمثلا، إذا أراد أحد أن يثبِّط پروتينا يؤدي إلى إزالة الفعالية من عقار ما، فإن أحد الاختيارات سيكون إيجاد جُسَيْم نانوي يُطْلِق أولا الطيقانَ siRNA والتي تثبِّط الجين المكوِّد لهذا البروتين، قبل إطلاق جزيئات العقار. ومع ازدياد اكتسابنا لفهم التحوُّلات الجزيئية من الصحة إلى المرض، ومن المرض إلى الصحة، يصبح من المحتمل أن يؤدي أسلوب الجزيئات النانوية دورا متناميا في معالجة الأمراض على المستوى الجزيئي.

(١) هي اسم مدينة رشيد المصرية واشتهرت بسبب حجر رشيد Rosetta Stone.

المؤلفون

James R. Heath - Mark E. Davis - Leroy Hood

<هيث> هو مدير مركز بيولوجيا النظم النانوية للسرطان، وأستاذ الكيمياء في معهد كاليفورنيا للتقانة، حيث يعمل على مواد ذات بنية نانوية، وعلى الدارات الكهربائية النانوية، فضلا عن تقانات لتشخيص ومعالجة السرطان. <ديڤيز> هو أستاذ الهندسة الكيميائية في «كالتك»، وقد طور مواد متخصصة للمستحضرات العلاجية التجريبية، وأسس شركتين هما إنسيرت Insert للأدوية وكالاندو للمستحضرات الصيدلانية، التي طورت المعالجات بالجُسَيْمات النانوية. <هود> هو رئيس معهد بيولوجيا النظم في سياتل، وهو المعهد الذي أسسه بعد ريادته في التقانات لسلسلة وتخليق الدنا والبروتين، وبدأ بتأسيس العديد من الشركات، منها آمگن Amgen للنظم البيولوجية التطبيقية وسيستيميكس Systemix وداروين Darwin وروزيتا Rosetta [1]. وقد أسس <هود> و<هيث> أيضا شركة المستحضرات التشخيصية المتكاملة، وهي شركة تعنى بطب النُّظُم، وتبحث عن واسمات بيولوجية للأمراض، وعن تطوير منصات للسوائل الميكروية، وللتقانات النانوية، لتحويل تلك الواسمات البيولوجية إلى أدوات تشخيصية.

الصورة الكبيرة(*)

يعتمد الأسلوب المرتكز على النُّظُم في التصدي للأمراض على الفكرة القائلة إن تحليل ديناميكية الشبكات التي اضطربت بفعل المرض، وما يؤدي إليه من فهم تفصيلي لآليات المرض، قد يبدِّل جميع جوانب كيفية ممارستنا للطب؛ من وسائل تشخيصية أفضل، وأساليب جديدة وفعالة للعلاج، وحتى للمكافحة. ويقود الأسلوبُ البيولوجي المرتكِز على النُّظُم في التصدي للأمراض، مسيرة التطوير لكثير من التقانات الجديدة، بما في ذلك علم السوائل الميكروية، والتقانات النانوية، والقياسات الجديدة، واستخدام آلات تصوير جديدة، وتطورات حاسوبية تستطيع تحليل ودمج وعمل نماذج لكميات كبيرة من المعلومات البيولوجية.

وفي السنوات العشر أو العشرين القادمة، ستحدث في الطب التنبئي والطب المعدَّل ليلائم الاحتياجات الشخصية لكل فرد على حدة، ثورةٌ باتباعِ أسلوبين جديدين على الأقل، هما سَلْسَلَة الجينوم لكل فرد على حدة، وهو أمر سوف يتيح لنا تعرف، وبدقة متزايدة، الحالة الصحية المحتملة لفرد ما؛ وقياسات زهيدة التكلفة لبروتينات الدم، مما سيسمح لنا بأن نقيّم، بانتظام وبشمولية، كيف تتطور صحة هذا الفرد.

ويبدأ الطب الوقائي بتعرّف البروتينات ضمن شبكة مريضة، إذا كانت مضطربة، وهو بذلك سيعيد سلوك الشبكة إلى الحالة الطبيعية، وفي نهاية المطاف سيقودنا إلى أدوية وقائية تقي من المرض. فمثلا، إذا كانت امرأة معرضة لخطر الإصابة بسرطان المبيض قد بدأت في سن الثلاثين بتناول أحد الأدوية النانوية المصممة خصيصا لاستبعاد المصدر الجزيئي للخطر، فإنها قد تخفض احتمال تطور سرطان المبيض لديها في أي فترة من حياتها من 40 في المئة إلى 2 في المئة.

وبوجود هذه النوعية من المعلومات عن أسباب الصحة والمرض، سيكون بإمكان الناس أن يشاركوا بكفاءة أكبر في قراراتهم الصحية الخاصة، بصورة تشبه كثيرا ما يمتلكه السكريون اليوم من أدوات ومعلومات تساعدهم على التحكم في صحتهم الجيدة بأنفسهم.

إن تحقيق صورة للطب تتميز بالقدرة على التنبؤ، وبإمكانية التعديل ليلائم الاحتياجات الشخصية لكل فرد على حدة، وبالقدرة على الوقاية، وبالمشاركة، سيكون له آثار واسعة المدى في المجتمع. إذ سيتعين على صناعة الرعاية الصحية أن تغيِّر خطط العمل لديها تغييرا جوهريا، وهي خطط العمل التي تفشل حاليا في توفير الأدوية الميسورة التكلفة، والعالية الكفاءة. كما ستؤدي التقانات المستجدة إلى **رَقْمَنَة الطب** digitization of medicine، وما يعنيه ذلك من إمكانية استخلاص المعلومات المتعلقة بالمرض من جزيئات منفردة، أو من خلايا منفردة، أو من أشخاص منفردين، وهو أمر يشبه تماما كيف تمت رَقْمَنَة تقانات المعلومات والاتصالات خلال السنوات الخمس عشرة الماضية. ونتيجة لكمية المعلومات الهائلة الجديدة المتدفقة، والتقانات الرخيصة الثمن، فإن تكلفة الرعاية الصحية ينبغي أن تنخفض بصورة حادة، بحيث يتيسر الحصول عليها حتى في العالم النامي.

وبالنسبة إلى السرطان، فإن أكثر الوعود إثارة، هي الوعود التي ينبغي أن تتحقق خلال السنوات العشر القادمة وهي: أولا، إن التشخيص عن طريق اختبارات تُجرى على الدم قبل ظهور أية أعراض ستمكن من اكتشاف السرطانات في بداية نشأتها، وقبل استفحالها، مما يجعل من الممكن الشفاء منها بالعلاج المعهود. وثانيا، إن سرطانات بعض النسج، مثل الثدي أو البنكرياس، ستُقسَم ضمن أنماط متميزة، ثم يُجْرى توافق بينها وبين العقاقير التي تحقق معدلات عالية من الشفاء. وثالثا، سيسمح تعرف الشبكات التي اضطربت بفعل المرض بتطوير أسرع وتيرة للعقاقير التي ستكون أرخص ثمنا وأكثر فعالية. ومن ثَمَّ، فإن هذا الأسلوب الجديد في الطب ينطوي على إمكان تحويل الرعاية الصحية بحيث يحظى بها تقريبا كل إنسان يعيش اليوم. ■

(*) The Big Picture

مراجع للاستزادة

NanoSystems Biology. James R. Heath et al. in *Molecular Imaging and Biology,* Vol. 5, No. 5, pages 312–325; September/October 2003.

Nanotechnology and Cancer. James R. Heath and Mark E. Davis in *Annual Review of Medicine,* Vol. 59, pages 251–265; February 2008. (First published online: October 15, 2007.)

Nanoparticle Therapeutics: An Emerging Treatment Modality for Cancer. Mark E. Davis et al. in *Nature Reviews Drug Discovery,* Vol. 7, No. 9, pages 771–782; September 2008.

Integrated Barcode Chips for Rapid, Multiplexed Analysis of Proteins in Microliter Quantities of Blood. Rong Fan et al. in *Nature Biotechnology*. Advance online publication: November 16, 2008.

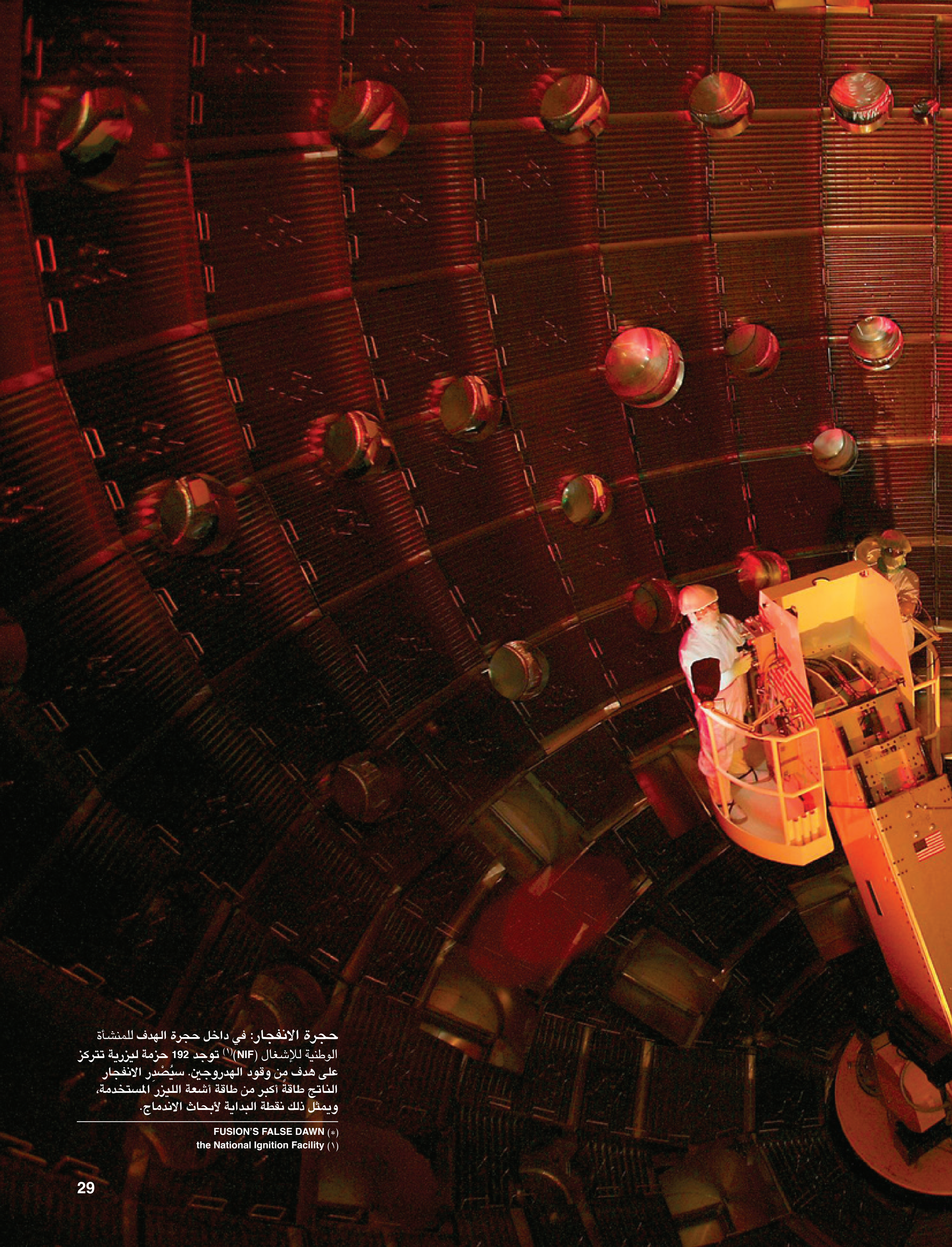
Scientific American, February 2009



فجر الاندماج الكاذب(*)

لقد حلم العلماء طويلا بالتحكم في طاقة الاندماج النووي - مولد الطاقة النجمية - من أجل الحصول على طاقة آمنة، نظيفة ولامتناهية. وحتى مع اقتراب هذا الحدث التاريخي المهم، فما زال هناك من يشكك في إمكان تحقيق مفاعل الطاقة الاندماجي عمليا في أي وقت في المستقبل، المفاعل الذي باستطاعته تأمين طاقة لامتناهية ونظيفة.

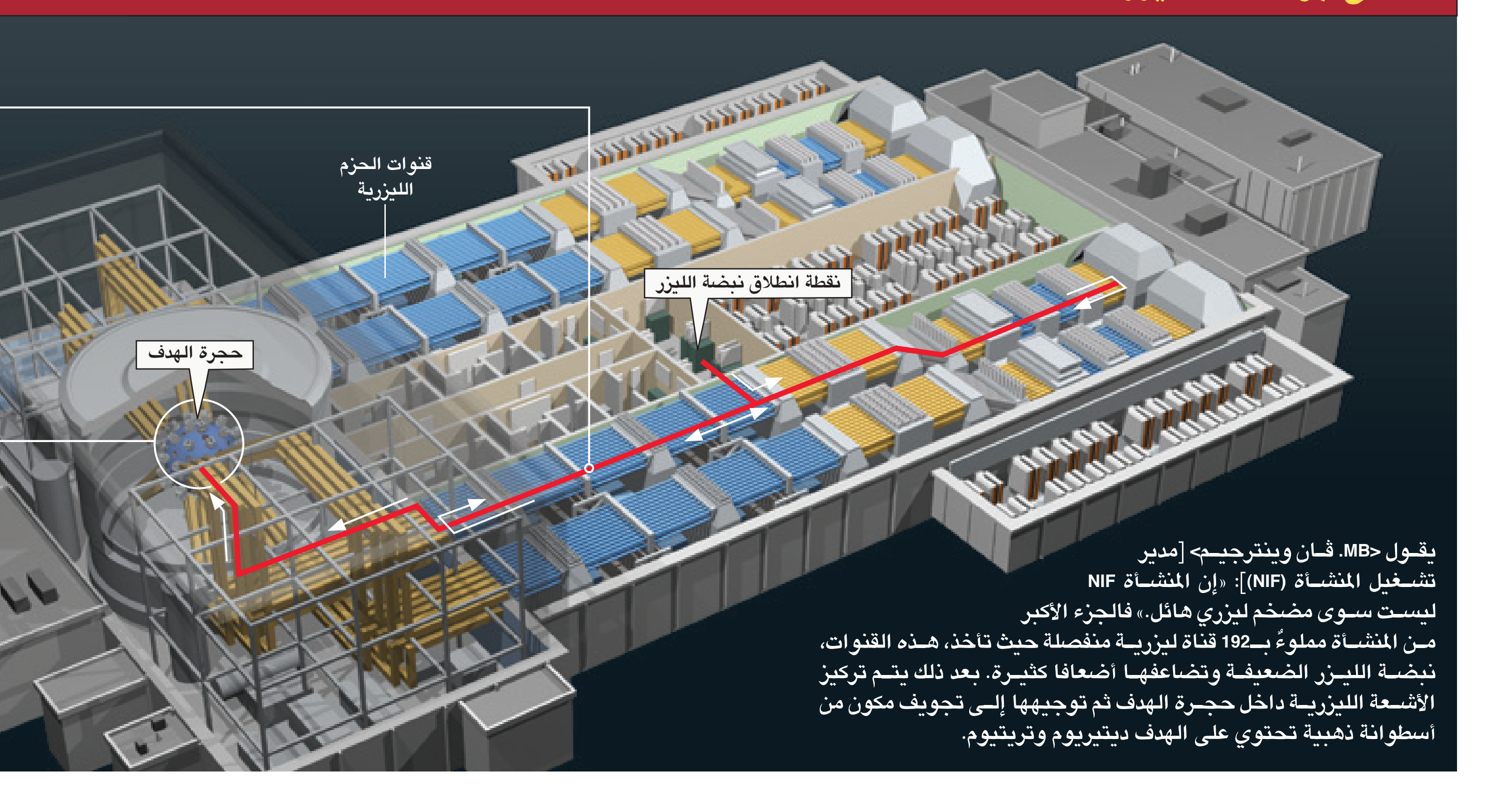
<M. موير>



حجرة الانفجار: في داخل حجرة الهدف للمنشأة الوطنية للإشغال (NIF)(١) **توجد 192 حزمة ليزرية تتركز على هدف من وقود الهدروجين. سيُصْدِر الانفجار الناتج طاقةً أكبر من طاقة أشعة الليزر المستخدمة، ويمثل ذلك نقطة البداية لأبحاث الاندماج.**

(*) **FUSION'S FALSE DAWN**
(١) **the National Ignition Facility**

اندماج بواسطة الليزرات(*)



يقول <MB. ڤان وينترجيم> [مدير تشغيل المنشأة (NIF)]: «إن المنشأة NIF ليست سوى مضخم ليزري هائل.» فالجزء الأكبر من المنشأة مملوءٌ بـ192 قناة ليزرية منفصلة حيث تأخذ، هذه القنوات، نبضة الليزر الضعيفة وتضاعفها أضعافا كثيرة. بعد ذلك يتم تركيز الأشعة الليزرية داخل حجرة الهدف ثم توجيهها إلى تجويف مكون من أسطوانة ذهبية تحتوي على الهدف ديتيريوم وتريتيوم.

مفاهيم مفتاحية

- من المتوقع أن يصدر عن اندماج نظائر الهدروجين، وبشكل مباشر، مقدار أكبر من الطاقة مقارنة بتلك اللازمة لدمج الجسيمات معا – وهذا هو الحدث المحوري للحصول على الطاقة الاندماجية.
- إذا ما تم التحكم في هذه الطاقة، فمن الممكن أن يشكل ذلك أساسا لمحطات طاقة ثورية.
- إلا أن العلماء، في الوقت الراهن، ما زالوا يكتشفون تحديات هندسية مهمة قد تعيق بناء محطات الطاقة الاندماجية لعدة سنوات أخرى.

محررو ساينتفيك أمريكان

في الوقت الراهن، إن **الإشعال**(1) متوقف. وخلال سنة أو سنتين، فإن المنظومة الليزرية التي تتكون من 192 حزمة ليزرية في المنشأة NIF – وهي المنظومة الليزرية الأضخم والأعلى قدرةً في العالم، والتي استغرق بناؤها 13 عاما وبلغت تكلفتها 4 بلايين دولار – ستقوم بتركيز طاقات الحزم الليزرية على كرية بحجم لا يزيد على حجم حبة فلفل، حيث ستسحق الطاقة الليزرية لب الكرية بقوة هائلة تؤدي إلى دمج نظائر الهدروجين معا في داخل الكرية وتطلق بالتالي طاقة مثيلة بتلك الناجمة عن قنبلة هدروجينية مصغرة.

لقد سبق القيام بنجاح بهذا العمل البارع. إلا أن الطاقة الناجمة عن الاندماج كانت دائما أقل بكثير من طاقة الليزر المستنفدة. ولكن في هذه المحاولة، سينعكس السجل الحسابي، حيث ستكون الطاقة المتولدة في مركز الكرية أكبر من الطاقة المستنفدة من الليزر. ولهذا التغيير أهمية أكبر مما تمليه الحسابات المجردة. ومن حيث المبدأ، فإن بالإمكان تجميع فائض الطاقة واستثماره في تشغيل محطة الطاقة الكهربائية. أما وقود المحطة، فهو عبارة عن مواد موجودة في مياه البحر الاعتيادية؛ وستكون انبعاثات المحطة – النووية والجوية – معدومة. وسيشبه ذلك عملية أسر نجم لتشغيل الآلات على سطح الأرض مما يؤدي إلى إرواء ظمأ بني الإنسان اللامتناهي للطاقة ممتدا إلى آماد لا محدودة.

لقد تَمَّ البدء ببناء منشأة اندماج رئيسية أخرى في العالم، بتكلفة قدرها 14 بليون دولار، في موقع خارج قرية كاداراش بجنوب فرنسا. إن جهاز **المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي** (ITER) – لا يعتمد على منظومة ليزرية، وإنما هو عبارة عن مغانط فائقة الموصلية تقوم بحصر نظائر الهدروجين معا وتسخينها إلى درجة حرارة تبلغ 150 مليون درجة مئوية – وهي أكبر بـ25 000 مرة من درجة حرارة سطح الشمس. وتتنبأ هذه التجربة بإمكانية توليد فائض من الطاقة المحصلة. إضافة إلى ذلك، وبشكل مغاير لمنظومة الدفقات الليزرية المتقطعة، ستكون المغانط قادرة على حصر البلازما مع بعضها بعضا لعشرات وربما مئات من

(*) FUSION FROM LASERS
(1) ignition

❶ المضخم الليزري

بعد أن تنشق النبضة الليزرية وبعد انتقالها خلال المضخمات الأولية، فإنها تمر من خلال الألواح الزجاجية لمضخمة الإشعاع الرئيسية. تقوم مصابيح الزينون الومضية بتهييج ذرات النيوديوم في الزجاج. وعندما يعبر الشعاع الليزري من خلاله، يعيد الزجاج الطاقة مرة ثانية إلى شعاع الليزر. وتتكرر هذه العملية في أكثر من 52 ممرا، حيث تعزز طاقة الليزر في كل ممر بمقدار 25%.

لوح زجاجي للمضخم

مصباح ومضي

❷ نحو الهدف

عندما تدخل أشعة الليزر حجرة الهدف التي يبلغ عرضها 10 أمتار، فإن البلورات تقوم بإنقاص طول موجة الضوء إلى النصف وتحوله من اللون الأحمر - الآمن بالنسبة إلى التجهيزات البصرية الليزرية - إلى أشعة فوق بنفسجية أكثر فاعلية في إحداث الاندماج.

حجرة الهدف

❸ الإشعال

في مركز حجرة الهدف تتركز أشعة الليزر على الجدران الجانبية للتجويف الذهبي مما يجعلها تصدر أشعة سينية ذات طاقة عالية. تقوم هذه الأشعة بحرق الطبقة الخارجية لكرية الهدف مما يؤدي إلى زيادة الضغط داخل الكرية بحيث تصبح كثافتها أكبر بـ100 ضعف من كثافة الرصاص وترتفع درجة حرارتها إلى 100 مليون درجة مئوية. وهذا الارتفاع المفاجئ في الضغط ودرجة الحرارة يؤدي إلى إشعال الاندماج.

أشعة فوق بنفسجية

تجويف

كرية الهدف

أشعة سينية

الثواني وتولد توهجا مستمرا من الطاقة.

وهذه الإنجازات ستكون مَعْلما بارزا في السبيل إلى الهدف الذي كان الأكثر إثارة منذ فجر العصر النووي والمتمثل بترويض العمليات التي تُجرى في مراكز النجوم والاستفادة منها في أغراضنا. إلا أن وميض الإشعال (أي حصول الاندماج) هو الجزء الأسهل في هذا السبيل، حيث إن هناك إدراكا متناميا بين الخبراء من العلماء في الاندماج النووي بأن تحديات بناء وتشغيل محطة طاقة الاندماج قد تكون أصعب بكثير من التحدي الفيزيائي المتمثل بإنتاج الكريات الملتهبة في البداية. وهناك بعض الفيزيائيين، من غير المعنيين مباشرة بأبحاث الاندماج يشككون في قابلية هذا المشروع للتحقيق حتى نظريا. فينبغي أن تتحمل مواد البناء المستخدمة في بناء المفاعل درجات حرارة عالية جدا تصل إلى بضعة ملايين درجة مئوية ولسنوات عديدة. فالمواد المكونة لمفاعل الاندماج ستكون معرضة لتصادم جسيمات نووية ذات طاقة عالية جدا مما يحيل هذه المواد إلى مواد هشة قابلة للتصدع، وكذلك تصبح ذات نشاط إشعاعي كبير. وكذلك ينبغي أن تقوم محطة الاندماج بإنتاج وقودها النووي عن طريق عمليات توليد معقدة. وحتى تكون مصدر طاقة مفيدا ومهما في الشبكة الكهربائية، فإنه يجب أن تستمر بتوليد الوقود بشكل ممتاز ومن دون انقطاع أو إعاقة أو حوادث كارثية مؤسفة لعقود عدة من الزمن.

يقول <R. هازلتاين> [رئيس معهد الدراسات الاندماجية في جامعة تكساس بأوستن]: «الفكرة جيدة، وهناك مسائل صعبة ولكنها قابلة للحل، ودعونا نركز على لب الاندماج ذاته. وقد يكون ذلك خطأ.»

وَعْد الطبيعة(*)

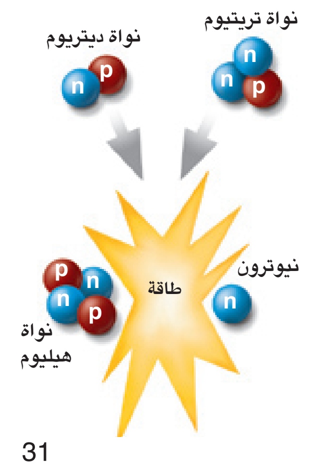
لقد بقي الاندماج - أو بالأحرى عدم معرفته - مصدر حيرة للعلماء منذ ستينات القرن التاسع عشر على الأقل. فنظرية <Ch. داروين> في التطور عن طريق الانتخاب (الانتقاء) الطبيعي تستلزم بلايين

(*) Nature's Promise

(**) THE D-T REACTION

تفاعل الديتيريوم والتريتيوم(**)

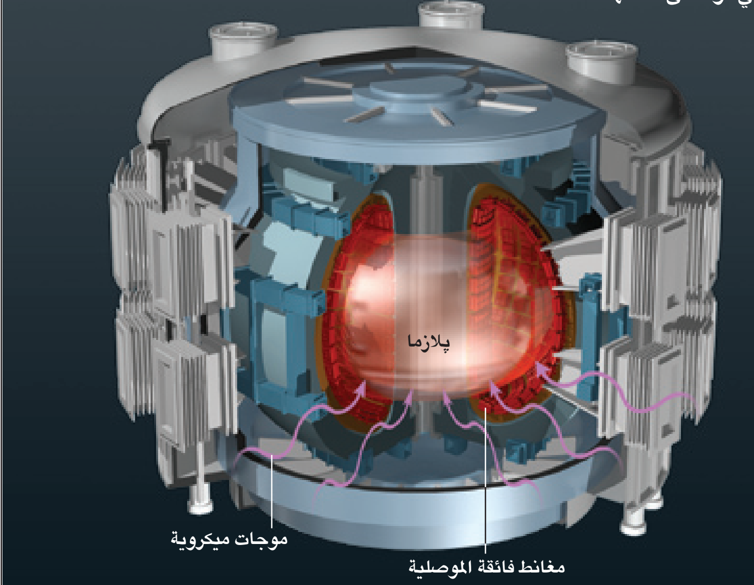
عندما يتم تقريب نظيري الهدروجين: الديتيريوم والتريتيوم قسريا أحدهما من الآخر بواسطة الضغوط ودرجات الحرارة العالية جدا؛ فإن هذين النظيرين يتغلبان على قوة التنافر الكهربائي بينهما، ويتم بالتالي اندماجهما. وينتج من هذا التفاعل الاندماجي: هيليوم ونيوترون وطاقة فائضة كبيرة.



[منظر داخلي]

اندماج نووي باستخدام مغانط(*)

يسعى المفاعل ITER في جنوب فرنسا إلى تحقيق الاندماج بواسطة تسخين البلازما المكونة من الديتيريوم والتريتيوم. ويتم احتواء البلازما بواسطة مغانط فائقة الموصلية وذات قدرة عالية جدا، وتستخدم أشعة ميكروية لتسخين البلازما إلى 150 مليون درجة مئوية. وهذه العملية ليست متقطعة مثل الاندماج الليزري في المنشأة NIF، حيث يمكن للاندماج أن يستمر عشرات الثواني أو حتى مئاتها.



السنين لحدوث التنوع الهائل في الحياة على الأرض. بيد أن أفضل تقدير لعمر الشمس آنذاك - والذي كان قد قدمه الفيزيائي البريطاني الشهير <W. ثومبسون> (والمعروف أكثر باسم اللورد كلفن) - كان لا يتعدى بضع عشرات من ملايين السنين. وكما يذكر <Ch. سيف> في كتابه الرائع بعنوان «*شمسٌ في زجاجة*» (ڤايكنگ 2008)، فإن <داروين> اعتبر انتقاد ثومبسون أحد أخطر الانتقادات عصفا بنظرية التطور. وقد كانت حجة داروين الضعيفة قائمة على افتراض أن العلماء سيتوقفون عن الجزم بعمر الشمس لعدم كفاية القوانين المتعلقة بالكون آنذاك.

وقد كان <داروين> على صواب. فقد مضت سبعة عقود قبل أن يتمكن العلماء من تطوير الآلية اللازمة لفهم مصدر إشعاع الشمس. فخلال فترة الثلاثينات من القرن المنصرم عرف العلماء أن المواد كافة مكونة من ذرات، وأن لهذه الذرات نوى مكونة من پروتونات ذات شحنة موجبة ونيوترونات متعادلة الشحنة. (الهدروجين عنصر فريد واستثنائي؛ لكون نواته مكونة من پروتون فقط). وبيّن <آينشتاين> من خلال **علاقته الشهيرة** $E = mc^2$ أن من الممكن أن تتحول الكتلة إلى طاقة. وأظهرت الدراسات الطيفية أن الشمس ليست مكونة من صخور منصهرة كما افترض <ثومپسون>، وإنما مكونة من الهدروجين بشكل أساسي إضافةً إلى كمية قليلة من الهيليوم.

إن الليزرات ستسحق الهدف بنبضة تفوق في طاقتها مجمل ما يستهلكه مواطنو الولايات المتحدة كافة.

في عام 1938 أدرك العالم الفيزيائي <H. بيتِه> أن الضغط في مركز الشمس سيكون من الكبر بحيث إن نوى الهدروجين المفردة ستنضغط مع بعضها بعضا بقوة هائلة تمكنها من التغلب على قوة التنافر الكهربائي وتجعل الأيونات المتماثلة الشحنة تبتعد عن بعضها في الظروف الاعتيادية. وقد رتّب <بيته> الخطوات الأربع للتفاعل المتسلسل، والتي من خلالها تندمج أيونات الهدروجين في بعضها بعضا. وتكون النواتج النهائية للتفاعل أخف قليلا من كتل العناصر الداخلة في التفاعل، والفرق في الكتلة يتحول بموجب العلاقة $E = mc^2$ إلى طاقة هي مصدر طاقة الشمس.

إن هذا التفاعل المتسلسل والمعقد يستلزم مقادير هائلة من الضغط تتوافر فقط في مراكز النجوم. والطريقة السهلة نسبيا لإحداث الاندماج هي البدء بنظيرين للهدروجين - ديتيريوم، الذي تتكون نواته من پروتون ونيوترون، وتريتيوم الذي تحتوي نواته پروتونا ونيوترونين. وعند تقريب الديتيريوم والتريتيوم أحدهما من الآخر كفاية يندمجان ويشكلان نواة الهيليوم (پروتونين ونيوترونين)، إضافة إلى نيوترون ودفقة من الطاقة. ويتطلب التفاعل درجة حرارة وضغطا أقل نسبيا مما عليه الحال في باطن النجم، مع أنه يولد مقدارا هائلا من الطاقة يميز تفاعلات الاندماج.

وإذا استطاع العلماء تحفيز الاندماج في وسط يمكن التحكم فيه، فإن مشكلة الطاقة في العالم ستنتهي تماما. فالوقود وافر جدا، لكون الديتيريوم موجودا في ماء البحر ومن الممكن توليد التريتيوم داخل المفاعل.

(*) FUSION FROM MAGNETS

والاندمــاج النووي، على خــلاف المفاعلات النوويــة المعتادة، لا يولد نــواتج نووية ذات نشــاط إشــعاعي وعمــر وســطي كبيرين والمعروفة باســم النفايــات النووية. ونظريا، فــإن بإمكان گالــون واحد من الماء المشــبع بالديتيريــوم إنتــاج قدر مــن الطاقة يكافئ ما تحملــه ناقلــة ضخمة مملــوءة بالبترول وبنســمات من الهيليوم فقــط كعوادم مــن المفاعل. يقول <E. I. موسيس> [مدير المنشأة NIF]: «ومن ثم، فلا توجد ضغوط سياســية علــى هذه التقنية وطاقــة الاندماج هي طاقة نظيفة، ومصدر الوقود موفور لامتناه، إنه أمر أكثر جودة من أن يصدق.»

وفي الواقع هذا ما حصل، فقد جاء أول تصميم لمفاعــل اندمــاجي علــى يــد <L. سبيتزر> [الأستاذ في جامعة پرينستون] وقــدر أن مقدار الطاقة التي ســيؤمنها هذا المفاعل، والذي أطلق عليه اسم **ستيلاراتور** stellarator، هــو 150 مليون واط والتي تكفي لتزويــد 150 ألف منــزل بالطاقة الكهربائية. واعتمــد <لايمــان> فــي تصميمــه على أن الإلكترونات ستنسلخ عن ذراتها عند درجات الحرارة الهائلة اللازمة للاندماج. ويؤدي ذلك إلى تكوين حســاء من الجسيمات المشحونة يســمى پلازمــا، ويمكن احتواؤه بواســطة المجــال المغنطيســي. ويتكون ســتيلاراتور <سپيتزر> في جوهره من زجاجة مغنطيسية تقوم باحتواء الپلازما في موضعها حتى مع تسخينها إلى درجات حرارة عالية تصل إلى ملايين الدرجات المئوية.

بيد أن <سپيتزر> وعلماء آخرين اتبعوا نهجه لــم يكونوا على دراية عميقة بســلوك الپلازما. والذي عرفوه لاحقــا كان مخيبا لتوقعاتهم، إذ تبين أن سلوك الپلازما لم يكن حسنا.

تخيل أنك تمسك بالونا مرنا وأنك تضغطه إلى أصغر حجم ممكــن. وبغض النظر عن مدى انتظام الضغط واســتوائه، فإن البالون ســينفلت من بين أصابعك. إن الشيء نفسه ينطبق على الپلازما. ففي كل مرة حاول فيها العلماء احتواء الپلازما وتقييدها داخل كرة محكمة تماما لدرجة كافية لحدوث الاندماج كانت الپلازما تجد طريقا لتتســرب خارجا من الجوانب. وهذا أمر محير وله صلة وثيقة بكافة أنواع مفاعلات الاندماج – فكلما جعلت الپلازما أكثر سخونة وأكثر انضغاطا، كانت مقاومتها لجهودك في احتوائها أكبر.

وطيلــة العقــود الســتة التي تلــت ذلك بذل العلماء جهودا كبيــرة لتطويع الپلازما باســتخدام زجاجــات مغنطيســية أضخم وأضخــم. وفــي كل محاولــة كان علمــاء الفيزياء يكشــفون القناع عــن جهاز مطور ومصمم للتخلص من المشكلات التي واجهت الأجهزة التي ســبقته، وقد أظهرت الطاقات الأعلى تنوعات جديدة من المشكلات. ويقول <Ch. بيكر> [المدير الســابق لبرامج الاندماج في مختبــرات آرگون وأوك ريــدج الوطنية والرئيس الحالي للجنة الاستشارية للمفاعل ITER في الولايات المتحدة الأمريكية]: «بغض النظر عــن كيفية التعامل معهــا، فالپلازما دائما قليلة الاستقرار.»

وقد شــهدت أزمة الطاقة في ســبعينات القــرن المنصرم ولادة برنامــج بحثي مواز للحصــول على الاندماج، يهدف إلى محاولة تجنب بعض المشــكلات المتعلقــة بالپلازما المحتــواة مغنطيســيا. وتعتمــد التقنيــات المســتخدمة في هذا البرنامج على منظومة ليزرية تعمل على تســخين وعصر كرية من الديتيريوم والتريتيوم. لقــد بدأ هذا البحث الــذي أجري فــي مختبر لورنــس ليڤرمور الوطني باســتخدام منصة تجريبية بسيطة تتكون من شــعاعين ليزريين. وفي عام 1977 أدت التطــورات التي حصلــت على القدرة الليزرية إلــى التوصل إلى آلة **شــيڤا** shiva (اسم إله الخلق والفناء لدى الهندوس)، وبعد ذلــك بناء آلة **نوڤــا** nova عام 1984. والطاقة الليزرية لكل برنامج مــن هذين البرنامجين فاقــت مقدار الطاقة الأعلى التي كان مختبر ليڤرمور ذاته قد ســجلها سابقا. ولكن، كما في البرامج المغنطيســية، لــم يتمكن هذان البرنامجان مــن الوصول إلى نقطة التعادل أي النقطة التي تتساوى فيها الطاقة الناجمة عــن الاندماج مــع طاقة الليزر المســتنفدة. ولتحقيق ذلك، فإن مختبــر ليڤرمور يحتاج

التاريخ الموجز للاندماج(*)

1950: قام العالم السوڤييتي <A. سخاروف> بتصميم زجاجة مغنطيسية، أطلق عليها اسم توكاماك، تستطيع احتواء الپلازما، غير أن عمل <سخاروف> في مجال الأسلحة النووية أبعده عن المشروع.

1951: قدم العالم <L. سپيتزر> [من جامعة پرنستون] مشروع ستيلاراوتر، الذي هو مفاعلٌ اندماجيٌ آخر يعتمد على المجالات المغنطيسية.

1952: قامت الولايات المتحدة الأمريكية بتفجير إيڤي مايك، وهي القنبلة الهدروجينية الأولى في العالم.

1969: سافر علماء غربيون إلى موسكو للتحقق من تصميم سخاروف (للتوكاماك)، حيث وجدوا أنه ينتج پلازما أكثر سخونةً وأكبر كثافةً من المفاعل ستيلاراوتر. ولذلك؛ أصبحت الزجاجات المغنطيسية (التوكاماكات) هي السائدة في الأبحاث الاندماجية المستندة إلى المجالات المغنطيسية.

1977: استُخدم ليزر شيڤا في حث الاندماج بالسفعات الليزرية.

2010: يتعين على المنشأة NIF مباشرة إجراء تجارب الاندماج للديتيريوم والتريتيوم في وقت متأخر من هذا العام.

2018 (تقريبا): ينتهي بناء المفاعل ITER كما هو مبرمج له. ومن المخطط لأولى اختبارات اندماج الديتيريوم والتريتيوم أن تتم في عام 2026.

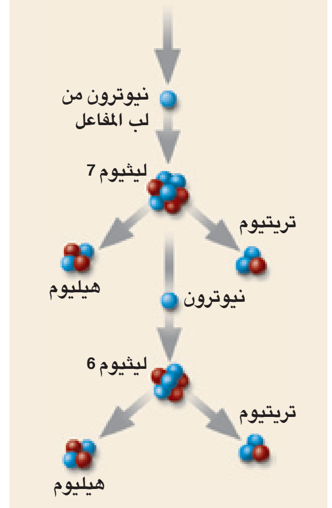
(*) THE SHORT HISTORY OF FUSION

إلـــى ليزر بقدرة أكبر 70 ضعفا من قدرة أي من الليزرات التي ظهرت حتى الآن. وفي عام 1997 بدأ العمل ببناء المنشأة NIF.

السفعات الصغيرة(*)

لا تبـدو المنشــأة NIF ذات أهميــة من الخـــارج. فهي عبارة عن بناء من دون نوافذ وحجمه يقارب حجــم حظيرة طائرات، وهو مطليٌ بلون بني فــاتح بحيث لا يبدو مغايرا لأي مكتب في متنزه ضاحية من الضواحي. ولكن مثل معظم المشاريع العلمية الكبيرة – كالمصادم الهادروني الضخم الذي يخطر على البال فورا – إن ما يثير الرعب هو الأشـياء المدفونة عميقا في داخلـه. توجد في داخل هذه المنشأة دستات من أنابيب عرضها متر ممدودة عبر المنشــأة. وتنتهي الأنابيب إلى حجرة الهدف التي هي عبارة عن ثلاثة أدوار مزودة بفتحات لتمكـين الليزرات من العبور من خلالها. وفي مركــز هذه الحجرة يوجد هدف الديتيريــوم والتريتيوم مســتقرا في مكانه بواسطة ما يبدو كرأس قلم الرصاص. وســتتركز الليزرات إلى ما يقرب من بضعة ميليِّمترات من النقطة المركزية حيث ستسحق الهدف مولدةً قــدرا من الطاقة – على الأقل لجزء قليل من الثانية – يلبي احتياجات الأمة جميعها من الطاقة الكهربائية.

ومع أن المنشأة NIF قد صممت من أجل الوصول إلى نقطة التعادل، إلا أن رســالتها الرئيسية ذات علاقة بالأمن القومي. ففي عام 1996 وَقَّــعَ الرئيس الأمريكي الأســبق ‹بيل كلينتــون› معاهدة حظر الاختبار الشــامل، وجرّم اختبارات الأسلحة النووية في الولايات المتحدة الأمريكية. وللتأكد من أن الأســلحة بالمخازن ستستمر بصلاحيتها للاستخدام كما هو مخطط لها – أي إن الرؤوس الحربية جميعهــا لن يتم اللجــوء إليها إلا إذا أعطى الرئيس أوامره بالضربة العســكرية – فقد قامت مختبرات الأسلحة النووية الوطنية في لوس ألامــوس وليڤرمور بتأســيس برنامج للإشراف على مخازن الأسلحة، وهو عبارة عن نظــام صيانة واختبار مصمم للتأكد من موثوقية ما يقدر بـ5200 رأس حربي موجودة حاليا في المخازن.



الطريقة البارعة للحصول على التريتيوم(**)

ينبغي على مفاعلات الاندماج أن تنتج وقودها من التريتيوم عن طريق سلسلة تفاعلات معقدة. حيث يبدأ ذلك بأن يقوم نيوترون بصدم أيون ليثيوم-7 المثبت في منطقة محيطة بالمفاعل تعرف بالبطانة. يولد هذا التفاعل الهيليوم والتريتيوم والنيوترون. يتابع هذا النيوترون الثانوي مساره حيث يصطدم بأيون الليثيوم-6، والمثبت كذلك في البطانة منتجا أيون هيليوم وأيون تريتيوم.

إن معظم أعمال الصيانة للأسلحة النووية هي أعمال روتينية بسـيطة تتمثل بالإشراف على وتبديل أجزاء الأسلحة، إضافةً إلى مهمة أساسية وهي النمذجة الحاسوبية للانفجارات النووية. وهــذه النماذج مفرطة الحساسـية للشــروط الأولية؛ ومن ثم فإن المنشــأة NIF مصممــة لتزويــد النمــاذج ببيانــات تتعلق بانفجارات مصغرة للديتيريــوم والتريتيوم. (والمنشأة ستســتخدم أيضا لأغراض علمية أساســية – وأحد أول هذه الاســتخدامات دراسة الموجات الصدمية الناجمة عن النجوم **المستعرة الأعظمية** (Supernova).

وعندمــا بدأت المنشــأة NIF بالعمل في الشــهر 2009/5، حظيــت قدرتها على توليد الطاقة باهتمام محرري الصحف. فمثلا نشر ‹Th. فريدمــان› عمودا في صحيفة *نيويورك تايمز* بعنوان «التوليد البارد للطاقة الحقيقي الآتي» كتب فيه: «كل كرية يتم سحقها تطلق دفقة مــن الطاقــة يمكن اســتخدامها في تسخين ملح سائل يستثمر في إنتاج كميات هائلــة مــن البخار الحار الــذي يعمل على تشــغيل **العنفــات (التوربينــات)** turbine، ومن ثم توليد كهرباء المنازل تماما مثل عمل الفحم حاليا.»

نظريــا، إن ما يقوله ‹فريدمان› صحيح. إلا أن المنشــأة NIF لــم تُعد قط لتكــون آلة توليد للطاقة القابلة للاســتخدام. فالمنشأة، في خطة العمل الحالية، ستبدأ بتجارب اندماج الديتيريوم والتريتيــوم في نهايــة هذا العــام، وبعدئذ يتم التوصل إلى نقطة التعادل بعد سنة أو أكثر من ذلك التاريخ، فيما إذا كان كل شيء يعمل بالشكل الصحيح. وللعلم، فإن ذلك لا يعني تعادل محطة طاقة وإنما يعني، كما يوضح ‹موسيس›، مجرد الحصــول على طاقة منطلقة من الكرية أكبر من طاقة الليزر المستنفدة في الاندماج. (وللعلم، فإن الطاقة اللازمــة لإنتاج ليزر بطاقــة قدرها 4.2 مليون جول، وتلك الطاقة الضائعة قبل الوصول إلى الهــدف لم تؤخذ بالاعتبار). ومع ذلك، فإنه من المحتمل تحقيق هــذا المعلم البارز بعد أكثر من 15 عاما وقبل تشغيل المفاعل ITER.

(*) Little Blasts
(**) THE T TRICK

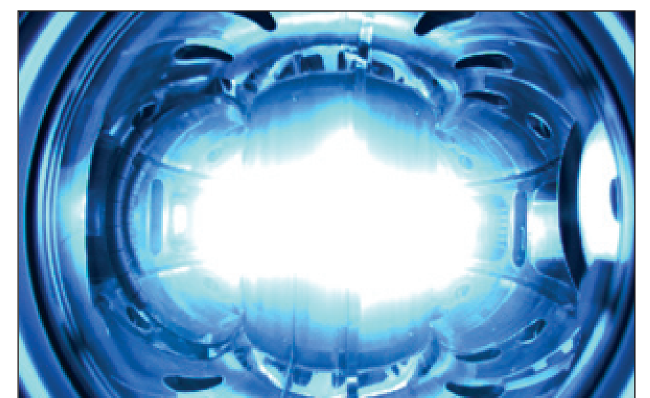
عقبات في طريق المفاعل(*)

وبغض النظر عن كيفية تحقق الاندماج، سواء كان ذلك باستخدام طاقة ليزرية في حدود الميگاجول أو بواسطة السحق المغنطيسي، فإن الطاقة الناتجة ستكون من نصيب النيوترونات المتولدة من الاندماج والتي لا تتأثر بالمجالات الكهربائية أو المغنطيسية لكونها متعادلة الشحنة. وإضافة إلى ذلك، فإن هذه النيوترونات تخترق معظم المواد الصلبة في خطوط مستقيمة.

والطريقة الوحيدة لإيقاف النيوترونات هي جعلها تصطدم بشكل مباشر بنواة الذرة. وعادة ما تكون هذه التصادمات مخربة. فطاقة هذه النيوترونات تكون عالية جدا بحيث إنها تستطيع إزاحة ذرات المعادن المتينة كالحديد مثلا من مواضعها. لذلك، فإن هذه التصادمات الشديدة تضعف بنية المفاعل وتحوِّل مادته إلى بنية هشة قابلة للكسر.

وفي حالات أخرى تحول هذه النيوترونات المواد المعتادة (المكونة للمفاعل) إلى مواد مشعة. فعملية اصطدام النيوترون بنواة الذرة قد تؤدي إلى امتصاصه من قبل النواة فتصبح غير مستقرة. لذلك، فإن حزمة من النيوترونات - حتى ولو كانت ناتجة من تفاعل نظيف مثل الاندماج - قد تجعل أي وعاء عادي خطيرا إشعاعيا، يقول «بيكر»: «إذا أراد أحد أن يبيعك أي نوع من الأنظمة النووية قائلا إنها خالية من الإشعاع؛ فلا تلتفت إليه واحتفظ بنقودك.»

إضافة إلى تحقيق الاندماج، فإن على المحطات الاندماجية أن تحول طاقة النيوترونات إلى حرارة تُشغِّل العنفات. إن التصاميم المستقبلية لمثل هذه المحطات تقوم بعملية التحويل هذه في منطقة محيطة بمركز الاندماج يدعى بالبطانة. ومع أن احتمال تصادم نيوترون ما بنواة أي ذرة ضعيف في البطانة، إلا أن بطانة سميكة ومصنوعة من مادة ملائمة - بسمك بضعة أمتار من الرصاص مثلا - ستمتص جميع النيوترونات التي تمر بها تقريبا. وهذا يؤدي إلى تسخين البطانة، ويقوم سائل تبريد



توهجٌ حار: منظر البلازما داخل مشروع الأبحاث المتقدمة للتوكوماك الفائق الموصلية الكوري، الذي بدأ العمل في عام 2008.

التحديات

على العلماء أن يتغلبوا على عدد من الصعوبات قبل أن يبزغ فجر الطاقة الاندماجية.

الحرارة: ينبغي أن تكون المواد الملامسة للتفاعلات قادرة على تحمل درجات حرارة عالية جدا لسنوات طويلة.

البنية: النيوترونات ذات الطاقة العالية تحيل المواد إلى مواد هشة.

الوقود: على مفاعل الاندماج أن يغذي ذاته بالتريتيوم الذي ينتجه من خلال سلسلة معقدة من التفاعلات.

الموثوقية: المفاعلات الاندماجية الليزرية تولد انفجارات متقطعة فقط، في حين ينبغي على المفاعلات الاندماجية المغنطيسية أن تحتوي البلازما لأسابيع وليس لمدة ثوانٍ.

مثل ملح منصهر بنقل الحرارة خارج المفاعل. ويستخدم هذا الملح الحار في غلي الماء وإنتاج البخار الذي يدير العنفات كما في أي مولد كهربائي.

وعلى الرغم من أن البطانة ليست بتلك البساطة، فإنها تقوم بمهمة أخرى بالدرجة ذاتها من الأهمية كتلك المتعلقة باستخلاص الطاقة. فالبطانة تقوم بإنتاج الوقود الذي يغذي المفاعل.

ومع أن الديتيريوم موجود بوفرة ورخيص الثمن، إلا أن التريتيوم نادر جدا ويجب الحصول عليه من التفاعلات النووية. إن بإمكان محطة طاقة نووية معتادة أن تنتج ما بين 2 إلى 3 كيلوغرامات من التريتيوم سنويا، وبتكلفة تقريبية تتراوح ما بين 80 إلى 120 مليون دولار لكل كيلوغرام. ولسوء الحظ، فإن مفاعل الاندماج المغنطيسي سوف يستهلك ما يقرب من كيلوغرام من التريتيوم كل أسبوع، يقول «محمد عبده» [مدير مركز العلوم والتقانة الاندماجية في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس]: «إن ما يحتاج إليه الاندماج أكثر بكثير مما يستطيع تزويده الانشطار.»

وحتى تتمكن المحطة الاندماجية من إنتاج التريتيوم اللازم لها ذاتيا، عليها أن تستثمر بعض النيوترونات التي كانت ستستخدم في توليد الطاقة. ويوجد في داخل البطانة قنوات من الليثيوم، وهو معدن لين ونشط تفاعليا مما يجعله قادرا على أَسْر النيوترونات السريعة ليشكل الهيليوم والتريتيوم. بعد ذلك، يتسرب التريتيوم الناتج عبر القنوات المشار إليها، ويتم أسره بواسطة المفاعل وإعادته إلى البلازما مجددا.

إلا أن الصورة تصبح مزعزعة عندما ندخل في التفاصيل الدقيقة. فكل تفاعل اندماج يلتهم أيون تريتيوم واحدا وينتج نيوترونا واحدا أيضا. لذلك، على كل نيوترون ينتج من المفاعل أن يولد أيون تريتيوم على الأقل، وإلا فإن المفاعل سيعاني نقص التريتيوم لكونه يستهلك تريتيومًا أكثر مما ينتج. ومن الممكن التغلب على هذه

(*) Reactor Roadblocks

الصعوبة في حال قيام العلماء باستحداث تفاعلات متسلسلة ومعقدة. فأولا يصدم النيوترون نظير ليثيوم 7، والذي على الرغم من كونه تفاعلا مستهلكا للطاقة، فإنه يُنْتِجُ أيونا من التريتيوم ونيوترونا. بعدئذ هذا النيوترون الثاني يصدم نظير ليثيوم–6 منتجا نيوترونا آخر.

إضافة إلى ذلك، فإنه يجب تجميع هذه النيوترونات كافة وإدخالها إلى البلازما بكفاءة 100% تقريبا. يقول ‹M. ديتمار› [فيزيائي الجسيمات الأولية في المعهد الفيدرالي السويسري للتقانة بزيورخ]: «في هذا التفاعل المتسلسل لا نستطيع فقدان نيوترون واحد، وإلا فإن التفاعل سيتوقف. وأول شيء ينبغي القيام به (قبل بناء المفاعل) هو أن نبين أن إنتاج التريتيوم سيتحقق، ومن الواضح أن هذا أمرٌ محال.»

يقول ‹هازيلتاين›: «إن هذه البطانة الاندماجية آلة رائعة حقا، فهي تمتص حرارة كبيرة وتتعامل معها بعناية فائقة دون أن تسخن أكثر من اللازم، أيضا فهي تمتص النيوترونات وهي مصنعة من مواد بعمر حياة كبير نسبيا على الرغم من تعرضها لتصادم هذه النيوترونات، وأخيرا تستثمر النيوترونات في تحويل الليثيوم إلى تريتيوم».

ولكن لسوء الحظ، فإن المفاعل ITER لا يقوم باختبار تصاميم البطانة مما يجعل العديد من العلماء – وخاصةً في الولايات المتحدة الأمريكية التي ليس لها دور كبير في تصميم، أو بناء أو تشغيل هذا المفاعل – يرون ضرورة وجود منشأة منفصلة لتصميم وبناء هذه البطانة. يقول ‹محمد عبده› في هذا الخصوص: «عليك أن تبرهن على أن بإمكانك القيام بذلك في نظام عملي، وإننا لم نقم ببناء أو اختبار البطانة أبدا.» وإذا ما خصصت الميزانية اللازمة لمثل هذه المنشأة غدا، فإن فهمنا للقضايا المتعلقة بها بشكل جيد سيستغرق ما بين 30 إلى 75 سنة وذلك قبل بناء وتشغيل المنشأة حسب تقدير ‹عبده›. يضيف ‹عبده› قائلا: «إنني أعتقد بإمكان إنجاز ذلك ولكنه يتطلب عملا كبيرا جدا.»

الكذبة الكبرى(*)

لنقل إن ذلك قد تحقق في عام 2050. ولنقل إن كلا من المنشأة NIF والمفاعل ITER قد حققا نجاحا متواضعا في تحقيق هدف الحصول على الطاقة في الوقت المناسب وضمن الميزانية المخصصة. ولنقل إن الطبيعة لم تحمل في ثناياها مفاجآت خلال تدرج الفيزيائيين في زيادة الطاقة لكل نظام؛ وإن البلازما الفوضوية السلوك سلكت كما هو متوقع. لقد أوضحت منشأة منفصلة للمواد كيفية بناء بطانة تستطيع إنتاج التريتيوم وتحويل طاقة النيوترونات إلى طاقة كهربائية، إضافة إلى استقرار البطانة على الرغم من تعرضها المستمر لتصادمات الجسيمات دون الذرية خلال العمل اليومي للمحطة. ولنفترض أن التكلفة التقديرية النهائية لمحطة الاندماج هي فقط 10 بلايين دولار. فهل سيكون هذا خيارا مفيدا؟

إن من الصعب الإجابة عن هذا السؤال حتى من قِبَلِ الذين أمضوا حياتهم في متابعة حلم الطاقة الاندماجية. والمشكلة هي أن المحطات الاندماجية – مثلها في ذلك مثل المحطات الانشطارية – تهدف إلى توليد الطاقة بصورة تمكن من استرداد تكلفتها الأولية الباهظة، الأمر الذي يستلزم تشغيلها المستمر. يقول ‹بيكر›: «كلما كان لديك نظام ذو رأسمال كبير، فمن الضروري تشغيله باستمرار لأنك لا تدفع تكلفة الوقود.»

ولسوء الحظ، فإن من الصعب جدا المحافظة على استمرار البلازما في حالة عمل لأي فترة زمنية ملموسة. حتى الآن تمكنت المفاعلات من الاحتفاظ بالبلازما الاندماجية لأقل من ثانية واحدة فقط. ويهدف المفاعل ITER إلى الاحتفاظ بالبلازما المشتعلة لعشرات من الثواني. ويعد الانتقال من هذه الفترة إلى استمرارية الاحتفاظ بالبلازما دون توقف قفزة كبيرة نحو الأمام لم تتحقق بعد. يقول ‹بيكر›: «يحتاج الاندماج إلى تحقيق 90% من الأشياء المتاحة، ويتضمن ذلك الأمور المتعلقة بالصيانة المنتظمة. وهذا يمثل أعظم ارتياب في قصور الموثوقية

(*) The Big Lie

الاقتصادية لنظم الاندماج النووي.»

ويرى ‹موسيس› [مدير المنشأة NIF] أنه يمتلك الإجابة. فقد تقدم باقتراح تصميم لمفاعل اندماجي انشطاري هجين - تستخدم فيه النيوترونات من التفاعلات الاندماجية المحفزة بالليزر لإحداث تفاعلات انشطارية في بطانة تتكون من النفايات النووية المعتادة. وأطلق على نظامه اسم LIFE - الاسم عبارة عن الأحرف الأولى من الجملة laser inertial fusion engine - ويقول إن بإمكانه تحقيق ذلك وربط النظام بالشبكة الكهربائية في غضون 20 عاما.

ويعتمد هذا النظام على حقيقة أن 5% من اليورانيوم فقط يستخدم قبل أن يتم سحبه وتخزينه في مستودعات النفايات النووية. في النظام LIFE يتم قذف نفايات الوقود النووي بالنيوترونات مما يؤدي إلى تسريع تفكك هذه النفايات إلى عناصر أخف وأقل إشعاعية، ويكون ذلك مصاحبا لإنتاج الحرارة التي يمكن استخدامها في توليد الطاقة الكهربائية. يقول ‹موسيس›: «تبين دراساتنا أن النظام LIFE سيكون منافسا لجميع مصادر الطاقة المعروفة حاليا وأقل تكلفة منها.»

ومن الطبيعي أن لا يخلو النظام LIFE من أوجه قصور. يقول ‹E. مورس› [أستاذ الهندسة النووية في جامعة كاليفورنيا ببيركلي]: «ينبغي النظر إلى الكذبة الكبرى في كل برنامج، والكذبة الكبرى في الاندماج النووي الليزري هي أن بالإمكان صنع كبسولات الهدف بتكلفة خمسة سنتات للكبسولة». إن كبسولات الهدف عبارة عن كريات بحجم حبة الفلفل ومؤلفة من وقود الديتيريوم والتريتيوم مصنوعة بدقة بالغة وكروية الشكل تماما للتأكد من أنها تنضغط بالتساوي من كافة الجوانب؛ لأن أي نتوء في الكريات يبطل قابليتها للانفجار. وهذا يجعل إنتاج الكريات باهظ التكلفة. ومع أن مركز ليفرمور الذي يخطط لصنع كرياته في الموقع لم يفصح عن التكلفة المتوقعة لإنتاجها، فإن مختبر ليزرات الطاقة العالية في جامعة روتشيستر يقوم بصنع كريات مماثلة من الديتيريوم والتريتيوم. يقول ‹مورس›: «إن الميزانية السنوية المخصصة لصنع كريات الهدف المستخدمة في روتشيستر تبلغ عدة ملايين من الدولارات، وهم يصنعون ست كبسولات سنويا، ومن ثم يمكن القول إن تكلفة القطعة الواحدة تبلغ مليون دولار.»

وعلى خلاف ما يجري في المنشأة NIF والتي بمقدورها أن تسفع كرية كل عدة ساعات، فإن تدوير الكريات إلى حجرة الهدف في النظام LIFE، سيتم بسرعة بندقية گاتلنگ. يقول ‹موسيس›: «وهي آلة تدور بمعدل 600 دورة في الدقيقة، إنها تشبه ماكينة سيارة بقدرة مليون **حصان** horsepower - مع عدم انبعاث كربوني.» إن محطة من صنف LIFE ستستنفد تقريبا 000 90 كرية يوميا.

ويستحيل، بطبيعة الحال التنبؤ بما سيؤول إليه الوضع العالمي للطاقة بعد 20 سنة. ربما ستكون الحاجة إلى الطاقة الاندماجية أكبر من أي وقت مضى، أو على النقيض من ذلك من الممكن أن يحدث اكتشاف رئيسي في الطاقة الشمسية، أو طاقة الرياح أو طاقة بديلة ليست في الحسبان بحيث تبدو الطاقة الاندماجية غالية الثمن وليس من اليسير الحصول عليها مقارنة بتلك المصادر. يقول ‹هازلتاين›: «عندئذ، من الممكن أن يقول الناس: نعم، إنها تعمل وهذا شيء عظيم، ولكننا لسنا بحاجة إليها الآن لأن لدينا قائمة بمصادر أخرى.»

لقد كان الاندماج في منأى عن هذه الاعتبارات، حيث كان ينظر إليه على أنه يختلف جذريا عن الوقود الأحفوري ذي التأثير الملوث للبيئة أو اليورانيوم الخطر. وكانت الطاقة الاندماجية تبدو نقية ورائعة - بمنزلة علاج دائم ونهاية عطشنا إلى الطاقة. وكانت القضية تبدو قريبة من الكون المثالي الذي يطمح البشر دائما في الوصول إليه.

وفي الوقت الحالي، فإن هذه الرؤى تتراجع. فالاندماج ليس سوى أحد البدائل الإضافية وقد يستغرق الأمر عقودا حتى يؤتي ثماره. إن عملية الإشعال قد تكون قريبة، ولكن عصر الطاقة اللامحدودة ليس كذلك. ■

مراجع للاستزادة

Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking. Charles Seife. Viking, 2008.

Fusion as an Energy Source: Challenges and Opportunities. W. J. Nutall. Report of the Institute of Physics, September 2008. **www.iop.org/activity/policy/Publications/file_31695.pdf**

Safe and Sustainable Energy with LIFE. Arnie Heller in *Science and Technology Review*. Publication of Lawrence Livermore National Laboratory, April/May 2009. **http://str.llnl.gov/AprMay09/moses.html**

Research Needs for Magnetic Fusion Energy Sciences. Final workshop report, June 2009. **www.burningplasma.org/renew.html**

Scientific American, March 2010

صعود نجم البكتيريا النانوية وأفوله(*)

لقد كان يُعتقد أن البكتيريا النانوية هي أصغر الكائنات المُمرِضَة المعروفة، وقد برهنت اليوم على أنها أشياء غريبة بالقدر نفسه تقريبا؛ ولها بالفعل دور مرتبط بالصحة، ولكنه ليس ذات الدور الذي اقتُرح لها في البداية.

<J. D. يونگ> - <J. مارتل>

إن ظهور دليل على وجود حياة على المريخ، حتى ولو كانت تلك الحياة قد حدثت فقط في الماضي البعيد، سوف يؤدي في النهاية إلى الإجابة عن السؤال الأزلي حول ما إذا كانت الكائنات الحية على الأرض هي فقط الموجودة في هذا الكون. وتجلت أهمية مثل هذا الاكتشاف في إعلان الرئيس الأسبق <بيل كلينتون> في مؤتمر عقد في عام 1996 أنه قد تم التوصل أخيرا إلى هذا الدليل، حيث اتضح أن حجرا نيزكيا نتج من حدوث تكسر في سطح **الكوكب الأحمر**[1] قبل نحو 15 مليون عام قد احتوى على بقايا أحفورية لكائنات حية متناهية في الصغر مما دل على أن الحياة قد وُجدت في وقت ما على المريخ.

وتوضح الدراسات الجيولوجية أن هناك كائنات مشابهة ، ولكنها أصغر من أي كائنات سبق لنا معرفتها أو حتى يمكن لنا أن نتخيلها ، قد أدت دورا في تشكيل الأرض في العصور المبكرة، وتقترح هذه الدراسات أن تلك العينات الأحفورية ربما كانت بقايا من العصور المبكرة جدا في تاريخ الحياة. ولكن النبأ الذي يمكن أن يأتي في المقدمة هو: ظهور دليل على أن هذه الكائنات القديمة، والتي صارت تعرف **بالبكتيريا النانوية**[2]، مازالت موجودة بيننا بل إنها حقيقة تعيش في أجسادنا ومن الممكن أن تكون سببا لعدد من الأمراض.

عندما ظهرت هذه الاكتشافات مجتمعة لأول مرة، شكك الكثير من العلماء في صحتها كما ألح بعضهم إلى إمكانية أن تكون مجرد حماسة واستثارة ممن قاموا بهذه الاكتشافات والتي تفوقت على ما قاموا به للتحقق من صحة ما حصلوا عليه من بيانات على أسس علمية. وقد بقيت بعض الأسئلة حول ما تتميز به البكتيريا النانوية في الواقع وما لا تتميز به. وبعد مرور أكثر من عقد من الزمن، فإن فهمنا لهذه الجسيمات المتناهية الصغر ولسلوكها غير المعتاد والمشابه لسلوك الكائنات الحية قد تقدم بشكل كبير. وقد اتضح أن البكتيريا النانوية ليست كائنات **مُمْرِضة** pathogens جديدة وغير معتادة – وفي الحقيقة، إنها ليست كائنات حية على الإطلاق. ولكنها، ومع ذلك، لا تقل أهمية عن الكائنات المرضة فيما يتعلق بصحة الإنسان، ومن الممكن أن تكون قد أدت دورا في تطور الحياة ولكنه ليس الدور نفسه الذي افتُرض لها.

إن تطور ملحمة البكتيريا النانوية يقدم لنا درسا حول الكيفية التي يعمل بها البحث العلمي وكيف أنه قد يسير في اتجاه غير متوقع. وكأي قصة جيدة، فإننا نجد أن النهاية الحقيقية لقصة البكتيريا النانوية كانت أكثر تشويقا من نهايتها التخيلية.

مفاهيم مفتاحية

- إن الاكتشافات التي يفهم منها أن هناك بكتيريا ذات حجم نانوي، قد تسببت في إحداث صدمة وإثارة؛ ذلك أنها صغيرة جدا لأن تكون حية.
- فاقت الادعاءات بوجود هذه الكائنات الممرضة المتناهية الصغر ما تم القيام به من إنجاز علمي لإثبات وجودها، إلى أن أوضح المؤلفان وغيرهما من العلماء أنه على الرغم من أن هذه الجسيمات قد بدت وكأنها حية، إلا أنها في الواقع ليست سوى بلورات شاذة مكونة من اتحاد المعادن مع جزيئات عضوية.
- ومع ذلك، فإن تفاعلات البروتين مع المعادن، والتي تؤدي إلى إنتاج تلك الجسيمات النانوية، تظهر لنا تفاصيل لعمليات يمكن لها أن تقي صحة الإنسان أو تضعفها.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE RISE AND FALL OF NANOBACTERIA
(١) Mars =The Red Planet: المريخ.
(٢) nanobacteria

ويستطيع الباحثون الآن أن يمضوا قُدُما إلى الأمام مستخدمين ما نعرفه عن هذه الكائنات النانوية في إحداث تقدم في الأبحاث المتعلقة بصحة الإنسان والمواد النانوية.

صغيرة جدا لكي تكون حية؟(*)

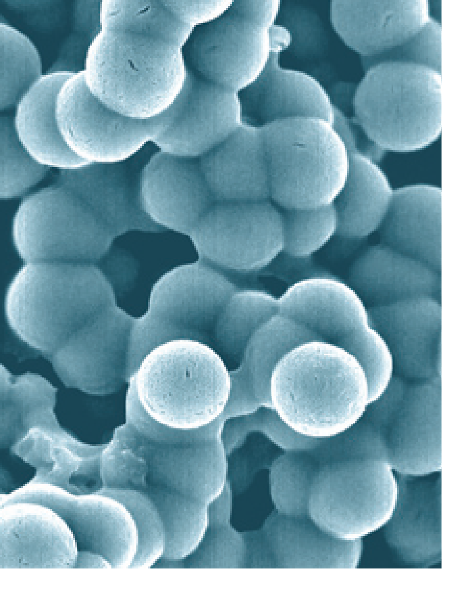
في عام 1993 وعند قيام ‹R.L. ڤولك› [وكان يعمل آنذاك جيولوجيا في جامعة تكساس] بفحص عينات من الصخور تم جمعها من الينابيع الإيطالية الحارة بمنطقة ڤيتربو، فإنه سجل ما أطلق عليه ولأول مرة «البكتيريا النانوية». ولقد لاحظ ‹ڤولك› أثناء فحصه للعينات باستخدام **المجهر الإلكتروني**(1) وجود كريات صغيرة شبيهة بالبقايا الأحفورية للبكتيريا. وقد بدت هذه الفقاعات الصغيرة مثل البكتيريا في امتلاكها جدرانا خلوية وزوائد خيطية على سطحها. وقد كانت كريات ‹ڤولك› صغيرة تماما، ولكنها أصغر بفارق مهم من أي نوع معروف من البكتيريا.

وعادةً ما يتم قياس البكتيريا نفسها **بالميكرونات** microns – والميكرون يساوي جزءا واحدا في المليون من المتر، وهو ما يعادل 1/100 تقريبا من عرض شعرة رأس نموذجية. وقد كانت البقايا الأحفورية التي اكتشفها ‹ڤولك› أصغر نحو 5 إلى 100 مرة من البكتيريا المعهودة، حيث إن حجمها تراوح ما بين 10 إلى 200 نانومتر (النانومتر الواحد يساوي 1/100 من الميكرون). وقد حصل ‹ڤولك› على هذه الكائنات النانوية من بقايا الطبقات الجيولوجية القديمة، بما في ذلك الطبقات الخاصة بفترات **الپاليوزويك** Paleozoic و**الميزوزويك** Mesozoic، والتي يعتقد أنها سبقت الحقبة التي ظهرت فيها الحياة على الأرض. ومن ثم فقد اقترح ‹ڤولك› أن قيام هذه الكائنات باستخدام وتدوير المواد العضوية وغير العضوية ربما يكون قد أدى إلى تكوين الطبقات الجيولوجية التي وُجدت بها هذه الكائنات.

مرت اكتشافات ‹ڤولك› من دون أن تلقى اهتماما كافيا حتى حلول عام 1996، حين قام ‹D .S. ماكاي› [من مركز ليندون B جونسون لأبحاث الفضاء والتابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) بهوستن] بنشر ما يثبت أن **حجرا نيزكيا من كوكب المريخ** Martain meteorite تم اكتشافه في القارة القطبية المتجمدة الجنوبية **أنتاركتيكا** Antarctica، ويعرف اختصارا باسم ALH84001، قد احتوى على أحفوريات نانوية مشابهة. وحيث إنه من المعتقد أن هذا الحجر قد نتج من مادة منصهرة منذ 4.5 بليون سنة، فإنه يُعد من أقدم الأجزاء في **النظام الشمسي** solar system. وإلى جانب اكتشاف كريات كربونية مشابهة للبكتيريا النانوية التي اكتشفها ‹ڤولك› في عينة الحجر النيزكي، فإن ‹ماكاي› وزملاءه تمكنوا أيضا من إيجاد جسيمات تحتوي على كبريتيد وأكسيد الحديد، وبها **هدروكربونات عطرية عديدة الحلقات** polycyclic aromatic hydrocarbons وجميعها مواد خام أساسية تدخل في العمليات البيولوجية. وقد تم الترويج والإشادة بهذه الاكتشافات على أنها تمثل دليلا جديدا ومختلفا تماما على إمكانية وجود حياة في عصور سابقة على المريخ وفي أماكن أخرى في النظام الشمسي.

وقد قُوبل تقرير ‹ماكاي›، ومن ثم ما قام به ‹ڤولك› من دراسات سابقة، باحتفاء إعلامي كبير وبكثير من الشك والجدل في الدوائر العلمية. حيث أوضح المنتقدون أنه قد تم بناء جميع الفرضيات حول هذه الكائنات المتناهية الصغرعلى أساس شكلها، ولم يكن هناك مطلقا ثمة دليل على أنها حية. والأكثر من ذلك، فإن هذه الكائنات النانوية قد أثارت جدلا حول أصغر حجم يجب أن يكون عليه الكائن الحي ليكون حيا. فبمعرفة أن قطر جزيء **الدنا** DNA المزدوج السلسلة يبلغ أكثر من 2 نانومتر، وأن **الريبوسومات** ribosomes المُصنعة للپروتين في الخلية يبلغ قطرها نحو 20 نانومترا، فإن المنتقدين شككوا في إمكانية أن تحتوي الخلايا ذات

(*) Too Tiny for Life?
(1) electron microscope



إن الجسيمات النانوية الناتجة من ارتباط الپروتينات بالأيونات المعدنية المتبلورة، تشبه الخلايا البكتيرية المتبرعمة وذلك تحت المجهر (الميكروسكوب) الإلكتروني.

[الادعاء]

أصغر صور الحياة(*)



الحجم النانوني على ما يلزمها من عضيات وجزيئات لتكون حية.

وفي قمة هذا الخلاف جاء عالمان من جامعة كيوبيو بفنلندا، وهما ‹E .O. كاجاندر› و‹N. سفتسيوجلو› ليشعلا نيران جدل أوسع. حيث قام هذا الفريق الفنلندي بتقديم أول ما اعتبر دليلا على أن البكتيريا النانوية هي كائنات حية وذلك في عام 1998. حيث لاحظ الباحثان وجود ملوثات صغيرة الحجم في المزارع الخلوية التي كانوا يقومون بتنميتها مع مقاومة هذه الملوثات لجميع الطرق التي

لاحظ المنتقدون أن جميع الادعاءات حول هذه الكائنات المتناهية الصغر قد تم تأسيسها على شكلها فقط.

استُخدمت للتخلص منها. ولم يقتصر دور هذه الجسيمات الملوثة على إحداث المرض للخلايا، بل إنها قاومت طرق التعقيم المعتادة والتي تُستخدم فيها الحرارة أو المطهرات أو المضادات الحيوية. وبملاحظة هذه الجسيمات المستديرة المتناهية الصغر تحت الميكروسكوب (المجهر) الإلكتروني، وجد ‹كاجاندر› و ‹سفتسيوجلو› أن حجمها تراوح مابين 50 و 500 نانومتر وأنها

(*) THE SMALLEST LIFE-FORM
(**) Early Excitement

[التضمينات]

الإثارة المبكرة(**)

تم تسجيل وجود تركيبات كربونية من المعتقد أن تكون بقايا أحفورية للبكتيريا النانوية لأول مرة في عام 1993. فقد اكتشف ‹R. ڤولك› [الباحث في علوم الأرض] أجساما مستديرة في عينات من الصخور بإيطاليا (*الصورة في اليسار*) بلغ عرضها من 10 إلى 200 نانومتر. ولكن هذه الاكتشافات قوبلت بالقليل من الاهتمام وذلك حتى عام 1996، حين أعلن العلماء في الوكالة ناسا عن اكتشافهم أحفوريات شبيهة في حجر نيزكي مصدره من المريخ (*الصورة في اليمين*). وقد حظيت إمكانية أن يحمل صخر عمره أكثر من 4 بلايين سنة دليلا على وجود حياة خارج كوكب الأرض باهتمام عالمي. كما أن الأهمية المحتملة لهذا الاكتشاف جعلت الرئيس الأسبق ‹بيل كلينتون› يعلق على ذلك بقوله: «اليوم يتحدث لنا الحجر 84001 عبر جميع تلك البلايين من السنوات والملايين من الأميال. إنه يتحدث عن إمكانية وجود حياة. ولو تم تأكيد هذا الاكتشاف، فإن هذا سوف يكون بالتأكيد واحدا من أهم الرؤى المدهشة التي استطاع العلم أن يكشف عنها في كوننا.»



آلان هيلز 84001 (*الصورة في الأعلى*)، هو حجر نيزكي تم اكتشافه في القارة القطبية الجنوبية المتجمدة أنتاركتيكا، ويحتوي على أجسام مستديرة وتكوينات عضوية ذات حجم نانوني (*الصورة في اليمين*) ومصنوعة من الكربون، كذلك فإنه يحتوي على عناصر يمكنها أن تعمل كمواد أولية للقيام بالعمليات الحيوية.



معني الحجم: اعتُبرت إمكانية وجود كائنات ذات حجم نانوني كقضية جوهرية وذلك عند طرحها بواسطة العديد من المجموعات البحثية في التسعينات، حيث إن وجود كائنات فائقة الصغر بدا غير محتمل، وإن لم يكن مستحيلا. وقد تراوح حجم «البكتيريا النانوية» الأحفورية والبكتيريا النانوية «الحية» ما بين 10 إلى 500 نانومتر. ولكن أغلب هذه العينات بدت صغيرة جدا لكي تحتوي وتقوم بتشغيل آليات كافية وضرورية لحياة الخلية، مثل الريبوسومات **ribosomes** التي تقوم بإنتاج البروتين، والتي يصل قطرها إلى 20 نانومترا، كما أن هذه العينات هي أدق من أصغر صور الحياة المعروفة - وهي بكتيريا *الميكوپلازما* ***Mycoplasma***.

كانت شبيهة بشكل مدهش بالبكتيريا النانوية التي اكتشفها ‹ڤولك›، مما يشير إلى أنهما شيء واحد أو متشابهان.

أصغر الكائنات المُمْرِضة(*)

وبالفحص الدقيق لتلك الجسيمات الصغيرة، وجد العالمان الفنلنديان أنها تحتوي على الأحماض النووية والپروتين، وهي مؤشرات إلى وجود حياة. وتأسيسا على وجود تتابعات معينة في جزيئات الدنا في العينات المختبرة، فإن العالمين قاما بتصنيف ما اكتشفوه، وأطلقوا عليه ***نانوبكتيريم سانگوينيوم*** *Nanobacterium sanguineum*، ليكون تابعا لمجموعة فرعية من البكتيريا تشمل ميكروبي ***البروسيلا*** *Brucella* و***البارتونيلا*** *Bartonella*، وكل منهما معروف بقدرته على الإصابة بالأمراض. وقد لاحظ أفراد المجموعة الفنلندية أيضا وجود صفات غير معتادة للبكتيريا النانوية، ومنها قدرتها على تغيير أشكالها في المزارع المنماة بها، وهي صفة أطلقوا عليها «**تعدد الشكل**» pleomorphism، وهي نادرة الحدوث في الكائنات الحية. حيث لوحظ أن البكتيريا النانوية تقوم بتغيير شكلها من جسيمات مستديرة صغيرة إلى طبقات **مستوية** films أو تجمعات من مادة معدنية. وتبين أن هذه المادة المعدنية هي **هدروكسي الأپاتيت** hydroxyapatite أو **أپاتيت** apatite، وهي تركيب بلوري من الكالسيوم والفوسفات يوجد في كل مكان في الطبيعة، بما في ذلك عظام الثدييات وأصداف اللافقاريات. ولم تكن البكتيريا النانوية الصغيرة والمستديرة مغطاة فقط بجدران من الأپاتيت ولكنها غالبا ما وُجدت مستترة فيما بين أجسام أكبر تشبه «أكواخ الأسكيمو» أو «الأماكن المأهولة بالسكان»، وذلك على حد تعبير الباحثين.

وفي محاولتهم تعرُّف مصدر البكتيريا النانوية، فوجئ الفريق الفنلندي عندما وجد أن هذه الكائنات موجودة في معظم السوائل في أجسام الحيوانات والإنسان التي قاموا بفحصها، ومنها الدم واللعاب والبول وغيرها، واستنتج أن هذه الميكروبات المتناهية الصغر تمثل خطرا للإصابة بالأمراض المرتبطة بحدوث تجمعات معدنية غير طبيعية في الجسم، مثل **حصى الكلى** kidney stones. وفي نهاية الأمر، فإن الأمراض التي قام الباحثون بالربط بينها وبين البكتيريا النانوية قد امتدت لتشمل أنواعا عديدة من السرطان، و**تصلب الشرايين** atherosclerosis، والأمراض التنكسية مثل **التهاب المفاصل** arthritis، و**تيبس الجلد** scleroderma، والتصلب المتعدد، و**التهاب الأعصاب الطرفية** peripheral neuropathy، وألزهايمر، وحتى الإصابات الڤيروسية مثل **الإيدز** (HIV). وقد أظهرت الدراسات المبدئية التي قام بها الفريق الفنلندي أن 14% من الأشخاص

(*) The Smallest Pathogens

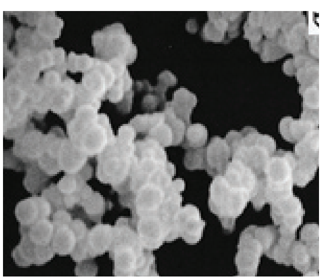
البالغين الاسكندينافيين قد احتوت دمائهم على **أضداد (أجسام مضادة)** antibodies للبكتيريا النانوية. كما جاء فيما بعد علماء آخرون مثل <P. A. سومر> [من جامعة أولم بألمانيا] ليُروجوا فكرة أن البكتيريا النانوية تسلك سلوك الكائنات المرضة المعدية، مشيرين بأصابع الاتهام إلى تلك البكتيريا على أنها تمثل خطرا صحيا عالميا.

وعلى الرغم من تلك المضامين المفزعة، فإن البكتيريا النانوية جاءت لتفي، في عديد من الاتجاهات، بما تتطلبه أكثر أحلام العلماء جرأةً. فمن الممكن أن تساعد طبيعتها البدائية جدا وصفاتها غير المعتادة وانتشارها في كافة أرجاء الطبيعة على تقديم تفسير لأصل الحياة ، ليس فقط على الأرض ولكن في جميع أرجاء الكون. والأكثر من ذلك، أنها يمكن أن تمثل أساسا جديدا وموحدا للإصابة بمختلف الأمراض بسبب ارتباطها عمليا بجميع العمليات المرضية التي يمكن تخيلها، وهذا ما يمثل حدثا غير مسبوق. ولكن نتيجة لجميع الصفات غير المعتادة للبكتيريا النانوية، فإن العديد من المنتقدين ظلوا غير مقتنعين بها. ومن بين هؤلاء <J. مانيلوف> [من مركز روشستر الطبي] الذي مازال يعتبر البكتيريا النانوية صغيرة جدا لكي تمثل كائنات حقيقية ويطلق عليها «الاندماج البارد في البيولوجيا الميكروية.»

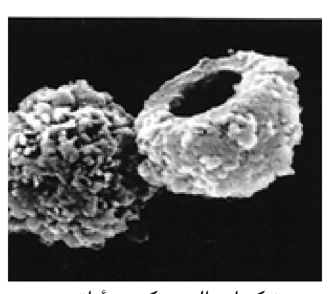
لقد أمدتنا الدراسات البحثية التي قادها<J.O. سيسار> [من المعاهد القومية للصحة] بأول رؤية بديلة للبكتيريا النانوية وذلك بحلول عام 2000. حيث وجد ‹سيسار› أن الفوسفوليبيدات، وهي مركب شائع الوجود في الأغشية الخلوية، يمكنها أن ترتبط بكل من الكالسيوم والفوسفات، بما يدعم تكوين بلورات فوسفات الكالسيوم (الأباتيت). وقد وُجد أن هناك تشابها عجيبا ما بين الكتل البلورية المتكونة بهذه الطريقة والبكتيريا النانوية كما وصفتها المجموعة البحثية الفنلندية. والشيء المدهش هو رؤية هذه الكريات البلورية وهي تنمو وتتضاعف

تبدو حية(*)

في عام 1998، أوضح العالمان الفنلنديان <O. كاجاندر> و<N. سفتسيوجلو> أنهما اكتشفا بكتيريا نانوية تمتلك أغلفة من فوسفات الكالسيوم ويمكنها إنتاج تركيبات معدنية تعكس التغيرات في شكل وأنشطة هذه الكائنات أثناء نموها.



تَبيَّنَ من تجارب المجموعة البحثية الفنلندية أن الجسيمات المعدنية قد تضاعفت في العدد بمعدل بطيء، وترافق ذلك مع نمو في الحجم ليصل إلى قطر يتراوح بين 20 إلى 500 نانومتر وذلك في الأطباق المحتوية على مزارع الخلايا.



بدت تركيبات الهدروكسي أپاتيت الفارغة والتي تم ملاحظتها في المزارع كأنها «مساكن» صنعتها البكتيريا النانوية باستخدام المعادن المتراكمة.

في أنبوب الاختبار كما لو كانت حية. وفيما يتعلق بوجود تتابعات فريدة من الأحماض النووية في البكتيريا النانوية والتي عُرفت بأنها أحد المعالم الأساسية المميزة لها، فقد أوضحت دراسة ‹سيسار› أن مثل هذه التتابعات يمكن أن تُوجد أيضا في التركيب الجيني للبكتيريا الشائعة والتي عادةً ما تلوث المواد والأدوات الزجاجية المستخدمة في مختبرات البحث.

وعلى ذلك، فقد بدأت الحماسة والاعتقاد القوي بوجود البكتيريا النانوية بالخمود. ولكن في عام 2004 وبشكل مفاجئ، أعلن فريق بحثي يعمل بقيادة <V. ميللر> و<J. C. ليسك> في مستشفى مايو عن تمكنه من إيجاد جسيمات نانوية في عينات من أوعية دموية متكلسة، وأن هذه الجسيمات لم تحتو فقط على الدنا والپروتينات وإنما أظهرت قدرة على تكوين جزيئات **الرنا** RNA (الحمض الريبي النووي)، وهي **الجزيئات الوسطية**[1] التي تستخدمها جميع الكائنات الحية لتحويل المعلومات الوراثية من الدنا إلى پروتينات خلوية. وبين يوم وليلة، عاد الجدل حول البكتيريا النانوية ليشتعل مرة أخرى، ومعه جميع المتناقضات المعتادة والإثارة من وسائل الإعلام.

ومع الترويج لفكرة أن البكتيريا النانوية تمثل نموذجا لميكانيكية جديدة للمرض، ربما تكون شبيهة بالپريونات وهي جزيئات پروتينية مسؤولة عن الإصابة بأمراض مثل **جنون البقر** mad cow disease، فإن البكتيريا النانوية اعتُبرت خطرا على الصحة العامة، مما مهد السبيل لظهور اهتمامات تجارية بتسويق طرق للكشف والعلاج من هذه الكائنات المرضة المتناهية الصغر. وظهرت "Nanobac OY"، وهي شركة قام بتأسيسها الباحثون الفنلنديون الذين كان لهم سبق اكتشاف البكتيريا النانوية الحية، وأصبحت المورد الأساسي للمواد التشخيصية، ومن ضمنها الأضداد، والتي

(*) LOOKING ALIVE
(1) the intermediate molecules

[نظرة من قرب]

وصفة لتحضير البكتيريا النانوية(*)

أظهرت التجارب التي قام بها المؤلفان أن التفاعلات التي تحدث بين المعادن، والبروتينات والجزيئات الخاملة الأخرى، والتي توجد بانتظام في بيئات المزارع الخلوية، يمكنها أن تنتج جسيمات (*الصور الميكروية في الأسفل*) تبدو وتسلك نفس سلوك البكتيريا النانوية المُعتقد وجودها. حيث تتداخل البروتينات مع عملية البلورة التي تحدث بشكل طبيعي للأيونات المعدنية، بحيث تنتج فقاقيع معدنية غير بلورية يمكن أن تنمو وتغير شكلها كما تفعل الكائنات الحية.

1 يحتوي الطبق المستخدم عادة في زراعة وتنمية الخلايا على إضافات غنية بالمغذيات مثل مصل دم أجنة الأبقار، والذي يحتوي على بروتينات وجزيئات عضوية أخرى. وقد بدأ المؤلفان بإضافة أيونات معدنية، مثل الكالسيوم والفوسفات، بهدف تسريع تكوين الجسيمات، مع أن الأيونات المعدنية الموجودة من قبل في بيئة (وسط medium) الزرع يمكن أن تُحدث التأثير نفسه.



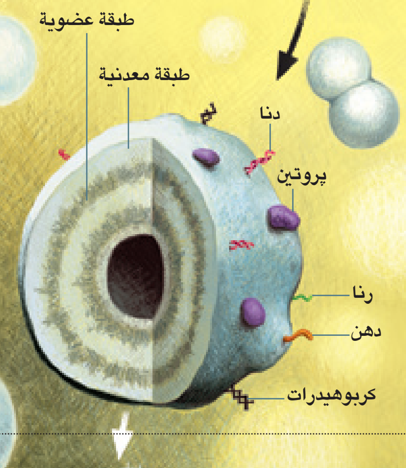
◄ يمكن خلال ساعات من إضافة الأيونات إلى بيئة زرع الخلايا مشاهدة جسيمات نانوية يتراوح قطرها بين 20 إلى 50 نانومترا وذلك باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني.

2 ترتبط أيونات الكالسيوم والفوسفات مع بعضها بعضا بصفة طبيعية ليكونا جسيمات معدنية من فوسفات الكالسيوم (هدروكسي أباتيت): ولكن يمكن لبعض البروتينات الارتباط بنهم بالكالسيوم متداخلة مع عملية البلورة. وبدلا من الحصول على تركيب طبقي منظم من بلورات الهدروكسي أباتيت النقية (*أقصى يسار الصورة*)، فإن جسيمات المعادن–البروتينات الناتجة يكون لها تركيب جزيئي غير بلوري وشكل يمكن رؤيته.



◄ تشبه هذه الجسيمات، والتي يتراوح حجمها بين 100 إلى 500 نانومتر، الخلايا الحية بسبب أشكالها وأحجامها الموحدة. وهي تشبه أيضا البكتيريا النانوية المُعتقد وجودها.

3 ومع استمرار الجسيمات بالنمو باكتسابها طبقات من مادة المعادن – البروتينات، والتي يمكنها أيضا أن تندمج لتكون جسيمات أكبر وتأخذ أشكالا متنوعة. وإضافة إلى المعادن وبروتينات مصل الدم، فإن الجسيمات تقوم بإدماج أي جزيئات متاحة لها في بيئة الزرع. وتقوم هذه المواد العضوية بإمداد دعم تركيبي للجسيمات لاستمرار نموها.



◄ وعند وصول الجسيمات إلى قطر يقدر بالعديد من المئات من النانومترات، فإن اندماجها المستمر يؤدي إلى ظهور أشكال غير معتادة تبدو في بعض الأحيان بشكل خلايا تقوم بالانقسام.

4 وفي النهاية ومع نفاد كمية البروتينات المتاحة في بيئة الزرع، فإن عملية البلورة تتسيد الموقف، وتعمل على إنتاج ما يشبه الشعيرات الإبرية على سطح الجسيمات. ومن ثم تنهار هذه التركيبات البلورية لتكون ما يشبه المغازل أو الأوراق ذات الشكل المروحي والتي تكون أكبر في الحجم. ومع تقدم البلورة، فإن الجسيمات تصبح أقل تميزا وانفصالا وفي النهاية فإنها تندمج لتكون ما يشبه الأوراق المعدنية الممزقة.

◄ ويشيع حدوث البلورة في هذه الجسيمات، والتي يصل عرض كل منها إلى 600 نانومتر، لتنتج زوائد معدنية ذات حواف حادة.



◄ وفي النهاية، تنهار الجسيمات المعدنية لتكون طبقة صلبة تغطي قاع طبق الزرع بكامله

(*) Recipe for Nanobacteria

تم تصميمها للكشف عن البكتيريا النانوية في أنسجة الإنسان. وبعد ذلك أصبحت شركة نانوباك للمستحضرات الصيدلانية Nanobac Pharmaceuticals، وهي شركة أنشئت في ولاية فلوريدا وقامت واستحوذت على الشركة نانو باك OY في عام 2003، موردًا لعقاقير علاج الإصابات المرضية الناتجة من البكتيريا النانوية.

بناء البكتيريا النانوية(*)

أثارت التصورات غير المعتادة وما قابلها من تصورات مضادة حول البكتيريا النانوية اهتمام مجموعتنا البحثية، وجعلتنا نعكف في

تقوم الجسيمات النانوية ببساطة باختطاف أي پروتينات تكون متاحة في الوسط (البيئة) المحيط بها.

عام 2007 على إجراء مجموعة من التجارب لتعرّف الطبيعة الكيميائية والبيولوجية لتلك الجسيمات، حيث اعتقدنا أنه قبل مناقشة الأدوار المحتملة لتلك الجسيمات النانوية، فإنه يجب على العلماء أن يقوموا أولا بتحديد ماهية هذه الجسيمات، وتحديد ما إذا كانت حية فعلا. ومن هذا المنطلق، فقد بدأنا بدراسة ما إذا كان للبكتيريا النانوية القدرة على التضاعف بوجود المواد غير الحيوية.

لقد قمنا بإجراء أبحاث استخدمنا فيها مركبات تحتوي على الكالسيوم مثل كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) وفوسفات الكالسيوم، وذلك لما نعرفه من أن لهذه المركبات ميلا طبيعيا إلى التجمع في نسق جزيئي دقيق لتكون بلورات، والبلورات هي تركيبات على درجة عالية من التنظيم **وذاتية التنوي**[1] وهي شبيهة **بمنشورات هندسية**[2]، أسطحها مستوية وحوافها حادة. ولكن إذا حدث تلف في تركيب البلورات، فإن هذا يكسبها صفات مختلفة تماما. وقد افترضنا أن معالجة المعادن بالپروتينات وغيرها من المركبات غير المعدنية سوف يؤدي إلى اختلال النظام الدقيق للطبقات **المتقاطعة** lattices اللازم لتكوين البلّورات، مما يؤدي إلى جعل التجمعات المعدنية **غير متبلورة** amorphous، أي إنها تنتظم بطريقة عشوائية أو غير منظمة على المستوى الجزيئي.

وقد اعتقدنا أيضا أن هذا الاختلال سوف يؤدي ببساطة إلى إجهاض عملية نمو التجمعات المعدنية لتكون بلورات. وما أدهشنا أن هذه التجمعات المعدنية استمرت في النمو والزيادة كجسيمات، أو بتعبير أكثر دقة، كجسيمات نانوية. ولم نكن نتوقع بالتأكيد أن مثل هذه المركبات البسيطة يمكنها أن تأخذ أشكالا وتكوينات هندسية تجعلها تبدو عمليا مطابقة للبكتيريا النانوية، مكتسبةً شكلا

[الآلية]

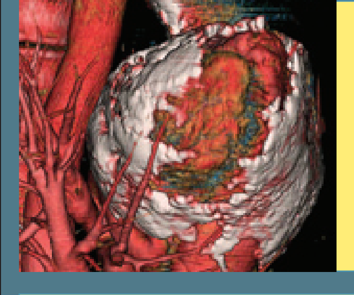
إدارة المعادن(**)

تشبه الجسيمات التي تظهر مثل البكتيريا النانوية، الرواسبَ الكلسيةَ في أنسجة الإنسان لأن كلا منهما ينتج من تفاعلات تحدث بصفة طبيعية بينَ المعادن والپروتين وتكون مسؤولة عن إمداد الأسنان والعظام بالمعادن. كما أنها تعمل على تثبيط حدوث عملية التكلس غير المرغوب فيها. وتعتبر التكلسات غير الطبيعية في الأنسجة عرضا مرضيا وليست سببا في حدوث المرض، ولكن مع مراحل حدوثها المتقدمة فإنها قد تؤدي إلى حدوث أمراض مثل حصى الكلى.



المعدنة الطبيعية

يحتاج تكوين العظام إلى جسيمات مستديرة من هدروكسي الأپاتيت قطرها 10 نانومترات لكي تندمج في بعضها مكونةً خيوطا من الخرز المعدني والتي تكون متشابكة بين ألياف الكولاجين. تندمج هذه الوحدات البنائية من الأپاتيت تدريجيا لتكون أليافا ثم طبقات معدنية تغلف الدعامة الكولاجينية مما يعطي العظام القوة و المقاومة للشد والكسر.



قلوب متصلبة

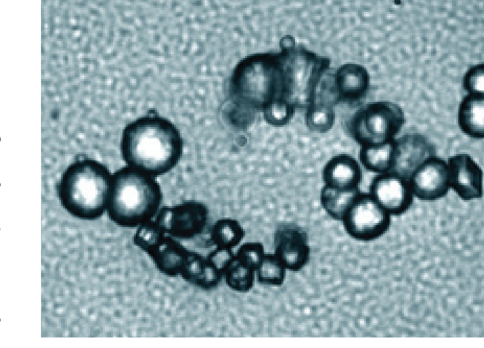
تتكون الرواسب الكلسية (باللون الأبيض) في القلب والشرايين وفق آلية كآلية المعدنة التي تحدث في العظام، وهي تمثل علامة على الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية. ومن المعتقد أن الرواسب الكلسية تحدث نتيجة لحدوث جرح في الأنسجة، ويمكن أن يتوقف أو ينحسر تكوينها إذا تمت معالجة المرض المسبب لذلك.



سبب أم نتيجة؟

يمكن ملاحظة التكلسات في أماكن أخرى من الجسم، كما في هذه العينة من نسيج غير سرطاني في غدة درقية بشرية متأثرة بالسرطان. وتعكس تركيبات الكالسيوم-الفوسفات فشل العمليات الطبيعية التي تعمل على إزالة المعادن في الأنسجة المريضة. وهناك احتمال آخر هو أن هذه المناطق المعدنة يمكن أن تكون قد نتجت من جسيمات غريبة كالملوثات، غير أن هذه الفرضية مازالت غير مؤكدة.

(*) Building Nanobacteria
(**) MINERAL MANAGEMENT
(1) self-nucleating
(2) geometric prisms



يمكن للبلورات النقية من كربونات الكالسيوم أن تأخذ أشكالا متباينة. وفهم الآلية التي تتكون بها الجسيمات النانوية في الطبيعة وكيف يمكنها أن تؤثر في صحة الإنسان، سوف يساعد العلماء على التحكم في صفات الجسيمات النانوية التي يقوم الإنسان بصنعها.

يشبه جدران الخلايا، وتظهر وهي تنقسم مثل البكتيريا الحية تماما. وباستخدام هذه التركيبات البسيطة من الجسيمات النانوية كنقطة للانطلاق، فقد قمنا بمواصلة محاولاتنا لإعادة بناء بيولوجية البكتيريا النانوية بالكامل. وكان ذلك بمحاولتنا تحديد ما إذا كانت جميع الصفات الغريبة وغير المعتادة للبكتيريا النانوية والتي قام علماء آخرون بوصفها بالفعل يمكن أن يتم الحصول عليها مجددا من خلال التفاعل بين الجزيئات العضوية البسيطة والمعادن.

وقد صار واضحا بعد فترة بسيطة أن الجسيمات النانوية الناتجة من خلائط كربونات وفوسفات الكالسيوم ذات قدرة على الالتصاق. فهي ترتبط بنهم بأي جزيئات مشحونة، سواء كانت أيونات، أو مركبات عضوية صغيرة (مثل الكربوهيدرات)، أو دهونًا، أو حتى دنا، أو غيرها من الأحماض النووية. ويؤدي الارتباط بالمجموعات الكيميائية المشحونة إلى تثبيت الجسيمات النامية، مضيفةً إليها تماسكا تركيبيا مع دفع الجسيمات المحتوية على الكالسيوم لكي تستمر بالنمو وأخذ أشكال معقدة. ولكن وفي النهاية، فإن أحد نمطين من الأحداث سوف يتسيد الموقف. فإذا توافرت كمية زائدة من المعادن، فإن الجسيمات سوف تتبلور في النهاية إلى الأپاتيت. ولكن إذا تجاوز المتاح من المركبات العضوية كمية المعادن الموجودة، فمن الممكن أن تتوقف عملية التبلور تماما أو تستمر بمعدل بطيء، مع استمرار الجسيمات بالتطور لتكون أشكالا أكثر تعقيدا.

ومن بين المجموعات الكيميائية المشحونة التي قمنا بدراستها، فإن البروتينات أنتجت أكثر التأثيرات تعقيدا وإثارةً للاهتمام وذلك عند استخدامها كعوامل للارتباط. فالبروتينات تتجول بحرية داخل الجسم. وبعض البروتينات مثل **الألبيومين** albumin و**الفيتيوين-A**(1) موجودة بكميات كبيرة في الدم، وهي أيضا قادرة على الارتباط بشراهة بالكالسيوم. ويعد الألبيومين مسؤولا بمفرده عن نصف قدرة **مصل الدم** blood serum على الارتباط بالكالسيوم. كما أن الفيتيوين-A لا يرتبط فقط بالكالسيوم ولكنه يستطيع أيضا الارتباط وبقوة بفوسفات الكالسيوم بصورة أپاتيت غير ناضج.

ومن المعروف جيدا أن قدرة هذه البروتينات على الارتباط ببلورات الأپاتيت غير الناضجة تؤدي إلى إجهاض عملية التبلور؛ مما يحمي من حدوث **المعدنة** mineralization غير المرغوب فيها بأنسجة الجسم. وبالوضع في الاعتبار حقيقة أن جميع سوائل الجسم، بما فيها الدم، تحتوي على **تراكيز عالية التشبع** supersaturated من الكالسيوم والفوسفات، ومع ذلك فإنه لا يحدث بها تكلس، فإن هذا يوضح أن الحماية التي تمنحها تلك البروتينات ذات أهمية كبيرة. فمن دونها، تصبح الأوعية الدموية صلبة، كما أن التركيبات العظمية يمكن أن تظهر فجأة في كل مكان.

وأثناء مواصلتنا لهذا الاتجاه في البحث، فإن دراسة منفصلة قادها <D. راؤل> [من الكلية الطبية بمرسليا في فرنسا] برهنت على أن البروتين الرئيسي الذي تم إثبات وجوده في البكتيريا النانوية هو الفيتيوين-A. وأظهرت تجاربنا فيما بعد أن الفيتيوين-A هو مجرد واحد من عديد من البروتينات التي تم الكشف عنها ضمن جسيمات الكالسيوم النانوية. وتتضمن البروتينات الأخرى الألبيومين و**البروتينات المرتبطة بالدهون** apolipoproteins والبروتينات المكملة وعديدًا من البروتينات المعتادة والتي عادة ما توجد بوفرة في الدم وجميعها معروفة بقدرتها الجيدة على الارتباط بنهم بالكالسيوم والأپاتيت. وبشكل أساسي، فإن تجاربنا دلت على أن البلورات تقوم أثناء نموها باختطاف أي بروتينات تكون متاحة في البيئة المحيطة بها ويكون لديها القدرة على الارتباط بالكالسيوم والأپاتيت.

(1) fetuin-A

لقد تمكنا أيضا من إيضاح أن **الأضداد (الأجسام المضادة)** antibodies والتي يتم بيعها على أنها مواد للكشف عن وجود البكتيريا النانوية بواسطة مجموعة الشركات التابعة لنانوباك هي في واقع الأمر مواد للكشف عن الفيتيوين-A والألبيومين. ولذلك، فإن الدراسات المبكرة التي تم فيها استخدام الأضداد المنتجة بواسطة شركة نانوباك للكشف عن وجود البكتيريا النانوية في مزارع أنسجة الإنسان كانت تقوم في حقيقة الأمر بالكشف عن بروتينات الدم المعهودة. والأمر الأكثر مدعاةً للقلق، هو اكتشاف أن الأضداد الأخرى والمفترض فيها أنها تقوم بالكشف عن البروتينات غير المعهودة للبكتيريا النانوية في دم الإنسان كانت في الحقيقة متخصصة بالكشف عن بروتينات دم الأبقار. وبقدر غرابة هذا الاكتشاف، بقدر ما يمكن تفسيره بسهولة، وذلك بحقيقة أن مختبرات الأبحاث تقوم بصفة عامة بإدخال مصل دم أجنة الأبقار، وهو مصدر ممتاز للمواد المغذية، في بيئات المزارع الخلوية. ولكن في حالة المزارع التي يتم فيها دراسة البكتيريا النانوية، فإن هذا المصل يعد أيضا مصدرا أساسيا للبروتينات التي تقوم بالاندماج في تلك الجسيمات، تاركةً في النهاية أثرا «بقريا» على الجسيمات النانوية. وبإعادة النظر إلى ما مضى، فإن الدراسات العديدة والتي أدعت الكشف عن بروتينات البكتيريا النانوية باستخدام مثل هذه الأضداد يمكن أن ينظر إليها الآن على أنها خاطئة أساسا.

ما الذي يحدث حقا(*)

مع أنه قد اتضح الآن وبشكل حاسم إيضاح أن البكتيريا النانوية ما هي إلا جسيمات نانوية غير حية تنتج من بلورة المعادن المعهودة مع غيرها من المواد في الأوساط المحيطة بها، فإن هذه الكائنات قد تظل تؤدي دورا مهما فيما يتعلق بصحة الإنسان. حيث نعتقد أن الجسيمات الشبيهة بالبكتيريا النانوية تتكون من خلال عملية طبيعية تعمل في المعتاد على حماية الجسم من حدوث التبلور غير المرغوب فيه، ولكن هذه العملية تشجع أيضا على تكوين جسيمات نانوية تحت ظروف معينة.

وتستطيع العديد من المعادن أن تكون تجمعات بشكل تلقائي في الطبيعة، ويمكن لتلك المعادن أيضا أن تظهر ميلا إلى تكوين بلورات. فالكالسيوم، على سبيل المثال، يرتبط بنهم بالكربونات والفوسفات مكونا بلورات **الكالسيت** calcite والأپاتيت. ومن ثم، فإن أي جزيء يكون لديه قابلية عالية للارتباط بالكالسيوم أو بلورات الأپاتيت غير الناضجة، سواء كان هذا الجزيء بروتينا، أو دهنا أو أي جزيء آخر مشحون، فمن الممكن أن نعتبره مثبطا لعملية التكلس بمعنى أنه يستطيع أن يتداخل مع عملية التبلور عن طريق الارتباط بالمعادن. وفي داخل الجسم، فإن ارتباط البروتين بالكالسيوم والبلورات غير الناضجة سوف يكون الهدف منه هو إما تخزين تلك المركبات المعقدة أو إزالتها.

تؤدي الإزالة المنتظمة للمعادن إلى منع الترسيب غير الطبيعي للكالسيوم والذي يسبب المرض. ولكن، هناك حاجة مستمرة إلى الكثير من البروتينات لكي تقوم بالارتباط بالمعادن، وإذا حدث أن فاقت كمية المعادن ما هو متاح من بروتينات مُثبطة، فإن ذلك يؤدي في النهاية إلى التغلب على ميكانيكية التثبيط. وعندما تتشبع مواقع الارتباط بالبروتينات بالمعادن، فإن البروتينات المرتبطة بالمعادن تعمل كبذور لتكوين البلورات، مما يؤدي إلى عملية لا ينتج منها فقط حدوث ظاهرة البكتيريا النانوية وإنما تسبب حدوث عمليات تكلس غير طبيعية، مثل تكون الحصى وتكلس الشرايين. وكمسببات محتملة للأمراض، فإنه يجب في المقام الأول النظر إلى هذه الجسيمات النانوية على أنها أجزاء من دورة أكبر للتنظيم الطبيعي للكالسيوم. فالسبل التي يتم من خلالها تكوين معقدات المعادن مع البروتين والتي تم وصفها هنا،

(*) What´s Really Going On

المؤلفان



John D. Young Jan Martel

يونگ أستاذ كرسي بجامعة تشانك جيونك وجامعة مينجتشاي للتقانة بتايوان ويرأس معمل **المواد النانوية** Nanomaterials بجامعة تشانك جيونك. يتركز اهتمامه البحثي بشكل أساسي على فهم التفاعلات بين المواد العضوية وغير العضوية وأثرها في صحة الإنسان. وقد شغل يونگ منصب رئيس مختبر المناعة والبيولوجيا الخلوية الجزيئية في جامعة روكفيلر، التي يعمل بها كأستاذ مشارك. **مارتل** طالب دكتوراه بمعهد الدراسات العليا في العلوم الطبية الحيوية بجامعة تشانك يونك. وقد جاء من مدينة شيربروك، بإقليم كيوبك بكندا، لينضم إلى مجموعة يونگ بتايوان لدراسة الميكروبات المرضة بالدم والأسس العلمية المحتملة لأساليب العلاج البديلة.

لها بالطبع دور في تكوين العظام أيضا. ومن ثم، فإنه بدلا من أن تكون الترسبات الكلسية سببا لحدوث أمراض تتضمن التكلس غير الطبيعي، فإنها قد تمثل النتيجة النهائية لعيوب استقلابية تؤثر في عملية تثبيط المعادن وإزالتها.

ومن السابق لأوانه الآن أن نعرف كيفية ترجمة مثل هذه الرؤى إلى أساليب علاجية. ولكن، من المحتمل أن يتم تفسير كافة الاكتشافات السابقة حول البكتيريا النانوية اعتمادا على **مفهوم التثبيط/التبذر** inhibition/seeding concept. فعن طريق زيادة الحجم من خلال الاندماج، على سبيل المثال، فإن هذه الكريات المعدنية-البروتينية يمكنها أن تتطور وتلتحم مع بعضها لتكون **مغازل** spindles، ثم طبقات رقيقة في النهاية. ومن الممكن الآن توثيق وتفسير هذه التغيرات الشكلية على أنها نتيجة التفاعل البسيط بين البروتينات والمعادن، مع نجاح المعدنة في الحدوث في النهاية. ووفقا لفرضيتنا، فإن الجسيمات الشبيهة بالبكتيريا النانوية تظهر في **أطباق الزرع** culture dishes نتيجة لغياب طرق فعالة لإزالتها داخل الجسم. ومن الممكن النظر الآن إلى البكتيريا النانوية التي تم وصف وجودها في المزارع الخلوية على أنها نواتج ثانوية بسيطة لعمليات طبيعية لاستقلاب الكالسيوم تحت ظروف ثابتة.

وقد أظهرت جميع جسيمات البكتيريا النانوية التي استطعنا تجميعها من الدم ومن سوائل الجسم الأخرى تركيبا كيميائيا بسيطا من الممكن توقعه، وهو تركيب يعكس طبيعة **وحدات البناء** building blocks المتوفرة في الوسط المحيط بها. فعن طريق تغيير تركيب هذا الوسط، نستطيع أن نغير وبسهولة تكوين الجسيمات النانوية، ويمكننا اليوم أن نقوم بهندسة جسيمات شبيهة بالبكتيريا النانوية ليكون لها أي تركيب يتم تحديده. وعن طريق الاستفادة من هذه العملية، أمكن لنا إنتاج عائلة كاملة من المركبات الأيونية المرتبطة بيولوجيا والمتشابهة تركيبا وأطلقنا عليها **بيونات** bions. وتظهر البيونات في مختلف الأحجام والأشكال وهي تحاكي أشكالا بيولوجية تبدو غير حية يمكن استخدامها لتفسير الطبيعة غير الحية للجسيمات النانوية، ومن المأمول منها أن توضح كيفية تصنيع واندماج مواد البناء المكونة من وحدات متناهية الصغر في الطبيعة.

إن فهم كيفية تكوين مثل هذه الجسيمات الصغيرة والمكونة من معقدات من المعادن مع جزيئات عضوية في الطبيعة يمكن أن يساعد على فهم آلية ظهور الحياة على الأرض منذ بلايين السنين. فمن الممكن أن نتصور أن المعادن المكونة لمعقدات مع الجزيئات العضوية الصغيرة قد أمكنها من خلال عملية **تضاعف ذاتي** self-replication تشبه عملية نمو الجزيئات النانوية، أن تكون وحدات البناء الأولى في الحياة وأن تتمكن من الوجود بشكل مستديم. فمثل هذه المعقدات المعدنية - العضوية يمكن أن تكون قد قامت بحماية العمليات المرتبطة بالحياة وساعدت على تقسيمها إلى مجموعات وربما تكون قد عملت بنفسها كمراكز لتحفيز هذه العمليات الحيوية. ويظل ذلك إمكانية محتملة، نعكف حاليا على دراستها.

إن التوصل أخيرا إلى أن مجالا واسعا من عمليات التكلس التي يتم ملاحظتها في الطبيعة وفي العديد من الأمراض المزمنة يمكن فهمه في سياق التفاعلات الجزيئية بين البروتينات والدهون والمعادن وغيرها من المواد الأخرى هو أمر مثير جدا للاهتمام. وخلافا لفرضيات البكتيريا النانوية والتي جرى الدفاع عنها في الماضي، فإن الفهم الحالي **للجسيمات المعدنية - العضوية**(1) الموجودة في الطبيعة سوف يسمح للعلماء بأن يتقدموا إلى الأمام في الكشف عن الكيفية التي يمكن من خلالها أن تفيد هذه الكائنات المتناهية الصغر الحياة، حتى وإن لم تكن هي بالذات حية. ■

(1) mineral-organic particles

مراجع للاستزادة

Nanobacteria: An Alternative Mechanism for Pathogenic Intra- and Extracellular Calcification and Stone Formation. E. Olavi Kajander and Neva Çiftçioğlu in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 95, No. 14, pages 8274–8279; July 7, 1998.

Purported Nanobacteria in Human Blood as Calcium Carbonate Nanoparticles. Jan Martel and John Ding-E Young in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 105, No. 14, pages 5549–5554; April 8, 2008.

Putative Nanobacteria Represent Physiological Remnants and Culture By-products of Normal Calcium Homeostasis. John D. Young et al. in *PLoS ONE,* Vol. 4, No. 2, page e4417; February 9, 2009.

Characterization of Granulations of Calcium and Apatite in Serum as Pleomorphic Mineralo-Protein Complexes and as Precursors of Putative Nanobacteria. John D. Young et al. in *PLoS ONE,* Vol. 4, No. 5, page e5421; May 1, 2009.

Scientific American, January 2010

التغير المناخي: تجربة متحكّم فيها(*)

درس العلماء بعناية الأراضي العشبية والغابات لمعرفة كيف أن التغيرات في كل من الهطول المطري وثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة ستؤثر في البيوسفير (الغلاف الحيوي)، كي يتمكنوا من التنبؤ بمستقبله.

<D.S. ولسشليكر> ــ <M. ستراهل>

قبل نحو ثلاثين سنة، كتب <F. Ch. بايس، جونير> [الكيميائي في مختبر أوك-ريدج الوطني التابع لوزارة الطاقة في الولايات المتحدة] أن الكرة الأرضية تخضع لتجربة عظيمة «غير متحكّم فيها» سرعان ما سوف يتبدّى للمرء عواقبها العالمية المتمثلة بارتفاع تركيز غازات الدفيئة (الغازات المسببة للاحتباس الحراري). ويدرك العلماء اليوم أن إزالة الغابات واستخدام الأراضي الزراعية الجائر وحرق الوقود الأحفوري تؤدي إلى تسخين كوكب الأرض. ولكن ما لا يدركونه على وجه التأكيد هو كيف سيؤثر التغير المناخي في تبديل الغابات والأراضي العشبية، وكذلك في تبديل السلع والخدمات التي توفرها هذه المنظومات البيئية للمجتمع.

فالكثير من الأنباء، التي تتحدث عن التغير المناخي وتُروّج لها وسائل الإعلام، تأتي من المراقبات وليس من التجارب. فالعلماء يراقبون جليد المحيط المتجمد الشمالي والجليديات والأحداث الطبيعية، مثل تسجيل زمن بزوغ أوراق الأشجار، ويعلنون ذلك عندما تصبح التغيرات خارج نطاق التوقعات الطبيعية. ومن المهم طبعا تسجيل هذا النوع من المعلومات تبعا للزمن. ولكنّ الأمر الأكثر أهمية هو أن يقوم بيولوجيو التغير المناخي بإجراء تجارب حقلية واسعة النطاق لمعرفة كيف تستجيب المنظومات البيئية لتزايد الهطول المطري أو لتناقصه، وكيف تستجيب لزيادة تركيز **ثاني أكسيد الكربون** (CO_2) في الجو ولارتفاع درجات الحرارة، بدلا من انتظار مشاهدة كيف أن تطور المناخ البطيء يغير البيوسفير أو (الغلاف الحيوي). فالبيانات التجريبية هي الوحيدة القادرة على التنبؤ بإمكانية تأثير التغيرات السابقة الذكر في المنظومات البيئية وبمدى هذا التأثير خلال العشر أو الخمسين أو المئة سنة القادمة، إضافة إلى معرفة كيف يمكن **للتغذية المرتدة** feed back لهذه التغيرات أن تؤدي إلى حدوث مزيد من التغيرات المتقدمة. وهذه البيانات التجريبية يمكن أن تساعد على التفريق بين الوهم والواقع في الجدل المناخي المشحون بالعواطف.

ومنذ سنين يقوم الباحثون بدراسة استجابات نباتات محدّدة - نمت على نحو نموذجي لمدة عدة أشهر ضمن حجرات مُتحكم في مناخها - لعدد متنوع من الظروف. إنّه من الضروري فهم الآليات التي تحدث على هذا المستوى. وكذلك يجب أيضا دراسة النباتات في بيئاتها الفعلية أي في المنظومات البيئية الحقيقية. وقد لا يعلم عدد كبير من الناس بوجود الكثير من التجارب الحقلية المتضمنة هطولات مطرية متغيرة وتراكيز مختلفة من ثاني أكسيد الكربون، والتي يجري تطبيقها منذ عقد من الزمن ومازالت مستمرة حتى اليوم - مثل التجارب المذكورة في المؤطرات المبينة في الصفحات التالية، إضافة إلى البدء بإجراء

مفاهيم مفتاحية

- يقوم الباحثون حاليا بتغيير مستويات درجات الحرارة وثاني أكسيد الكربون والهطولات المطرية في مواقع معينة من الغابات والأراضي العشبية وأراضي المحاصيل الزراعية لمعرفة الكيفية التي تستجيب لها حياة النباتات.
- إن ارتفاع درجات الحرارة وتركيزات ثاني أكسيد الكربون إلى مستويات أعلى، يفضي إلى زيادة في النمو الورقي أو في مردود المحصول، غير أنّ هذين العاملين قد يعملان أيضا على تكاثر الحشرات ويضعفان قدرة النباتات على درء الأوبئة والأمراض.
- سوف تقود التجارب الميدانية المقبلة والتي يمكنها مواجهة الظروف البيئية الثلاثة في آن واحد إلى أفضل النماذج لكيفية تأثير تغيرات المناخ على المدى الطويل في المنظومات البيئية العالمية.

محررو ساينتيفيك أمريكان

(*) CLIMATE CHANGE: A CONTROLLED EXPERIMENT

تجارب تتناول درجات الحرارة. وتتوفر اليوم بيانات كافية لتطوير نماذج تتنبأ بالتغيرات المناخية والنباتية ترسم صورة أكثر دقة لكيفية تغير الغابات والبراري والمحاصيل الزراعية في عالم تتزايد سخونته باستمرار ويتعرض لأنماط هطولات مطرية مختلفة ومحاط بغلاف يحوي كميات متزايدة من ثاني أكسيد الكربون.



نتائج من أرجاء العالم(*)

تبين التجارب المنجزة في أنحاء مختلفة من العالم أن النباتات والمنظومات البيئية تمتلك قدرة كبيرة على التكيف مع الظروف الجديدة. ولكن العلماء يتوقعون وجود **عتبات**(١) إذا ما جرى تجاوزها ستحدث استجابات محتملة مهمة وكارثية. ولدى استكشاف هذه الحدود ستُصادف مفاجآت، ومع ذلك فإنه من الممكن استخلاص بعض الاستنتاجات التالية من بيانات التجارب الحقلية:

- يمكن أن تؤدي زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون إلى تعزيز محاصيل السلع مثل القمح والأرز والشعير وفول الصويا والقطن، ولكن سخونة متزامنة مع تلوث بالأوزون في بعض الأماكن قد تؤدي إلى انخفاض التأثير التعزيزي لغاز ثاني أكسيد الكربون أو إلغائه نهائيا. وكذلك، فإن التغيرات المناخية ستبدّل التآثرات الكائنة بين المحاصيل والأعشاب الضارة والحشرات و**المُمْرضات** pathogens، حيث تكون الغلبة للأوبئةَ كما لم يحدث من قبل.
- إن غابات الأشجار المتساقطة الأوراق في شرق الولايات المتحدة - أي التي تفقد أوراقها موسميا - قليلة التأثر بالجفاف نسبيا. وتحتفظ الترب العميقة بالكثير من الماء الكافي لدعم استمرار نمو الأشجار الكبيرة طوال معظم العام. ولكن التربة السطحية لا تحتفظ إلا بالقليل من الماء؛ ولذلك تجف بسرعة مسببة ارتفاعا كبيرا في معدلات موت النبتات الصغيرة الفتية والشجيرات- أي غابات المستقبل.
- يؤدي غلاف جوي غني بغاز ثاني أكسيد الكربون إلى زيادة نمو الجذور التي توفر المزيد من المغذيات مما يعزز الإنتاجية في الغابات التي في طور النماء، وكذلك فإن زيادة نمو الجذور في الأعماق قد تفيد أيضا النباتات في المنظومات البيئية الجافة أو القاحلة وذلك بزيادة إمكانية الوصول إلى مياه التربة العميقة.
- يمكن للاحترار العالمي وارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون أن يُعزّزا انتشار العديد من الأعشاب الزراعية الضارة بما فيها **الشوكيات الكندية** Canadian thistle، كما يمكن أن يُخفّضا إنتاج المحاصيل أو يزيدا الحاجة إلى مبيدات الأعشاب. وكذلك قد تسبب الأنواع الدخيلة بعض المتاعب.

(*) Findings around the Globe
(١) thresholds

التتمة في الصفحة 52 ◄

الهطولات المطرية: تضبيط الوقت هو كل شيء(*)

الموضوع: على الرغم من أن مستويات درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون CO_2 سترتفع عموما في جميع أرجاء العالم، فإن النماذج المناخية تتنبأ بأن تزايد وتناقص الهطولات المطرية سيتغيران كثيرا من مكان لآخر في العقود القادمة.

التجربة: شيَّدَ العلماء عددا متنوعا من البنى لتخفيض أو رفع كمية الماء التي تصل إلى النباتات في الأراضي العشبية والغابات وحقول المحاصيل وكذلك إلى أراضي سهول القطب الشمالي (التوندرا) الخالية من الأشجار في المناطق الواقعة عند خطوط العرض الشمالية. فقد استعملت على الأغلب أغطية على شكل قباب أو ميزابات[1] troughs، بحيث يمكن حجز الماء عن أحد المواقع وإعادة توزيعه على موقع آخر مجاور لاختبار الزيادة في الهطول المطري هناك. ويمكن أن تكون بعض هذه الأغطية قابلة للتحريك أو لتصغير حجمها. ويمكن أن تشيّد حواجز أو خنادق في التربة لمنع المياه السطحية من التسرب إلى مواقع الدراسة ولمنع جذور النبات من الوصول إلى المياه الزائدة خارج مواقع الدراسة.

تستخدم مشاريع، مثل تجربة إزاحة الهطول المطري[2] (TDE) الذي يتخلل عبر الأغصان والأوراق بالقرب من مختبر أوك-ريدج في تنيسي، منظومات مؤلفة من قنوات ومزاريب trough and gutter متقنة تثبّت تحت مستوى الأشجار في الغابة لتكوين شروط جفاف أو رطوبة في التربة (الصورة والشكل التوضيحي). ويمكن توزيع ما قدره نحو 1900 قناة في مناطق تبلغ مساحة كل منها مساحة ملعب كرة القدم. ويمكن وضع تصاميم مشابهة بين الأشجار التي تتباعد عن بعضها كثيرا كما في غابات پينيون- جونيپر في نيومكسيكو حيث يدرس <N. ماكدويل> [من مختبر لوس ألاموس الوطني] دور الجفاف والحشرات في موت الأشجار.

النتائج: بينت التجربة التي أجرتها جامعة كنساس الحكومية في پراري كونزا أن بعض الأعشاب استطاعت تحمل التغيّر في الهطولات المطرية بصورة أفضل من غيرها، وأن الصراع على موارد المياه يزداد بين النباتات في عالم يتجه نحو السخونة.

أما في الغابات المعتدلة المناخ مثل الغابة التي درسها <P. هانسون> في مشروعه: تجربة إزاحة الهطول المطري الذي يتخلل عبر الأغصان والأوراق، والذي استغرق 13 سنة؛ فقد وجد أن الأشجار البالغة ذات الجذور العميقة استطاعت تحمل النقص الدائم في الهطولات المطرية، إلا أن العديد من الشجيرات والنبتات الصغيرة ذات الجذور السطحية لم تستطع المقاومة فماتت. وبينت هذه التجربة أيضا أن الأشجار قد ازداد تضررها عند حدوث فترات جفاف شديدة في بعض المواسم المحددة؛ فانخفاض هطول المطر في فترة النمو النشيط لسوق النباتات في أوائل الربيع أخّر النمو بمقدار أكبر بكثير مما يحدثه الهطول المطري المخفّض في أوقات أخرى. إنّ فترات الجفاف التي تحدث في نهاية الموسم عندما تكون الأشجار قد توقفت عن النمو، لا تكون لها عواقب تذكر طالما أن مخزون الماء في التربة يتجدّد تماما قبل حلول موسم النمو اللاحق. وعلى العكس من ذلك، فإن بعض الأشجار الكبيرة في غابات الأمازون المطرية في البرازيل ماتت خلال السنة الرابعة من الجفاف الذي أحدثه الباحثون في مركز أبحاث هول وودز في ماساتشوستس، في حين كانت الشجيرات الصغيرة والأشجار التي أقطار جذوعها صغيرة أقل تأثرا. يؤدي حجز نحو 60 في المئة من الهاطل المطري إلى تجفاف التربة العميقة، في حين تبقى التربة السطحية ذات رطوبة كافية وذلك بعكس ما تبينه نتائج التجربة TDE التي تتخلّل عبر الأغصان والأوراق. وهكذا، يتضح أنه يجب فهم التأثرات interactions المعقدة قبل أن تستطيع النماذج تمثيل التغيرات المناخية بصورة صحيحة.

ميزابات[1] في تجربة إزاحة الهطول المطري الذي يتخلّل عبر الأغصان والأوراق لمحاكاة الجفاف بمنع ماء المطر من الوصول إلى الأرض.

(*) PRECIPITATION: TIMING IS EVERYTHING

(1) ج: ميزاب trough حوض مستطيل ضيق مفتوح يُبعد ماء المطر المتجمع فيه عن موقع الهطول.

(2) Throughfall Displacement Experiment

(التحرير)

تجربة إزاحة الهطول المطري الذي يتخلّل عبر الأغصان والأوراق



ثاني أكسيد الكربون: البعض ينمو نموا أفضل(*)

الموضوع: يُقدَّر العلماء أن المحيطات والمنظومات البيئية الأرضية تمتص ما لا يقل عن نصف كمية ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن حرق الوقود الأحفوري. وتمتص النباتات هذا الغاز لاستخدامه في إنتاج الكربوهيدرات في عملية التركيب الضوئي photosynthesis. ولكن هل يستمر هذا التحويل في نسب تركيز أعلى لثاني أكسيد الكربون؟ وهل الزيادة في تركيزه تُغيّر السكريات والكربوهيدرات ومركبات الوقاية في النباتات، ومن ثم تساعد أو تمنع إصابة هذه النباتات بالحشرات والمُمْرِضات؟

التجربة: أجريت تجربة إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون في مختبر أوك-ريدج الوطني لمدة أكثر من عشر سنوات بإشراف <R. نوربي>. تتكون التجربة من أربع مناطق للدراسة محاطة بأنابيب تنفيس متدلية من أبراج (*الصورة والشكل التوضيحي*). تحرر الأنابيب غاز ثاني أكسيد الكربون بحيث تحصل جميع الأشجار على كمية محدّدة. كما تجرى تجارب مشابهة لتجربة إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون فيما يقارب 35 منظومة بيئية طبيعية أخرى ومتحكم فيها في جميع أرجاء العالم، تتفاوت ما بين بقع من المستنقعات يبلغ قطرها مترا واحدا وبقع من حقول المحاصيل قطرها 23 مترا وبقع من المزارع الحرجية قطرها 30 مترا.

النتائج: تؤكد البيانات أن المستويات المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون تحفِّز التركيب الضوئي والذي يُدخل المزيد من الكربون في النسج النباتية. وهذا الإنتاج الأولي الصافي net primary production يستمر لمواسم نمو متعدّدة. لقد ازداد الإنتاج الأولي الصافي في تجارب الغابات في ويسكونسن وكارولاينا الشمالية وتينيسي وإيطاليا بمقدار 23% سنويا عندما ارتفع مستوى ثاني أكسيد الكربون في بيئة هذه المناطق من 388 جزءا من المليون إلى 550 جزءا من المليون. وهو المستوى الذي قد يصل إليه في مئة عام إذا لم تقم الأمم بأي إجراء للحد من إصداراته. وتوحي نتائج النمذجة الحديثة أن النباتات سوف تستجيب إيجابيا للمستويات المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون على الرغم من أن هذه المكاسب يمكن أن تقل في الترب التي لا تحتوي على كمية كافية من المغذيات مثل النتروجين.

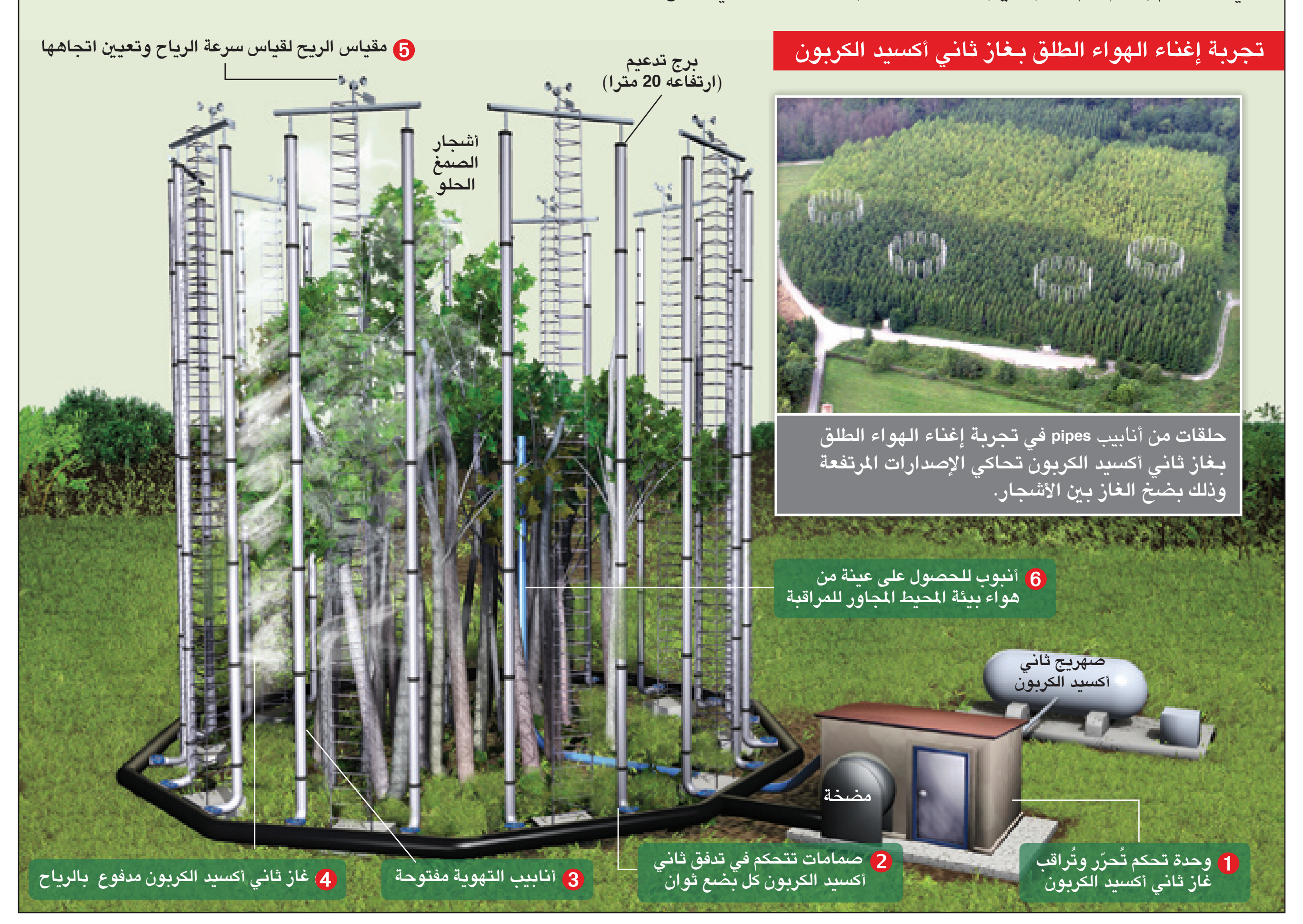
لقد كان الإنتاج الأولي الصافي المتزايد ثابتا في جميع بقع تجارب إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون في جميع أنحاء العالم، ولكن الإنتاج الأولي الصافي يشير فقط إلى كمية الكربون التي اختزنت ضمن النبات، ولا يعكس مصير هذا الكربون على المدى الطويل، ففي غابات الصنوبر الكثيفة في نورث كارولاينا يخزن الكربون المضاف بصورة أساسية في السوق والأغصان حيث يمكن أن يبقى فيها عقودا طويلة من الزمن، في حين نجد في غابات الصمغ الحلو sweetgum في تينيسي أنّ الكربون ظهر في المقام الأول في الجذور الصغيرة الحديثة.

تكون هذه الجذور مفيدة طبعا ولكنها لا تعيش سوى مدد قصيرة لا تتعدى أسابيع قليلة أو سنة، والكثير من الكربون يعود إلى الغلاف الجوي حالما تقوم البكتيريا بتفكيك الجذور. ويحاول العلماء معرفة ما الذي يقود الكربون إلى مكان من النبات دون الآخر، وسنحصل على الكثير من المعرفة عندما تُقطع الأشجار وتحفر التربة في مختلف مواقع الدراسة في الأشهر القادمة.

ويمكن القول إن تجارب إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون قد أعطت ثمارها حاليا. إذ قام <د. راندرسون> [من جامعة كاليفورنيا في إرڤين] مع علماء مختبر أوك-ريدج [في المركز الوطني لأبحاث الجو في بولدر، كولورادو، ومعاهد أخرى] باستعمال البيانات لتقييم وتحسين نموذج منظومة المناخ المحلية الذي يحاكي العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تحرك منظومة مناخ الكرة الأرضية.

(*) CO_2: GREATER GROWTH FOR SOME

تجربة إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون



حلقات من أنابيب pipes في تجربة إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون تحاكي الإصدارات المرتفعة وذلك بضخ الغاز بين الأشجار.

درجة الحرارة : ارتفاعا وانخفاضا(*)

الموضوع : سيختلف الاحترار في المستقبل باختلاف الموقع الجغرافي. وستكون درجة الحرارة في أمريكا الشمالية في عام 2100 أعلى بمقدار يقع ما بين 3.8 إلى 5.9 درجة سيلزية شتاء وبين 2.8 إلى 3.3 درجة صيفا. وستؤثر هذه التغيرات في الأيض metabolism النباتي وكذلك في توفر الماء والمواد الغذائية في التربة، وفي صراع النباتات على الموارد وفي شره الحيوانات العاشبة والحشرات والمُمْرضات.

التجربة : جرب الباحثونَ عددا مختلفا من الطرائق لتسخين بقع صغيرة جدا، واستعملوا المصابيح المصدرة للأشعة تحت الحمراء وأشرطة التسخين الكهربائية التي توضع في التربة، والحجرات المفتوحة السقف – وهي أقفاص أسطوانية الشكل مغلفة ببلاستيك شفاف ومجهزة بجهاز ينفخ الهواء الساخن. وقد تبين أن جميع هذه المقاربات مفيدة ولكنها لا تخلو من العيوب: فمعظمها لا يسخّن سوى منطقة صغيرة والعديد منها يسخّن بعض أجزاء المنظومة البيئية فقط، كما أنّ أشرطة التسخين تُسخّن بقعا حارة تسخينا غير طبيعي في التربة. أما الحجرات المسخنة بالهواء الساخن، فتعتمد على الفترة الزمنية من اليوم والفصل من السنة، وتتأثّر بالهطل المطري والرياح وضوء الشمس بطريقة تعقد تفسير النتائج.



حجرات مفتوحة السقف في تجربة الاستجابة وضبط درجات الحرارة لتدفئة النباتات الصغيرة والشجيرات باستمرار.

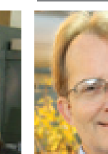
النتائج : إن المنظومات البيئية القطبية الشمالية والمناطق الشمالية الواقعة إلى جنوبها مباشرة، تكون بشكل خاص معرضة للتأثر في تغيرات درجات الحرارة. لقد استعملت في تجربة التوندرا العالمية التي قادها <G. هنري> [من جامعة بريتش كولومبيا] الحجرات المسخّنة لتسخين بقع صغيرة في نحو اثني عشر موقعا في بلدان مختلفة. وتبين النتائج التي تم الحصول عليها حتى الآن أن زيادة قدرها ما بين درجة إلى ثلاث درجات سيلزية تزيد في تعزيز نمو الغطاء الأرضي من الشجيرات المتساقطة الأوراق والأعشاب مقارنة بالطحالب والأشنيات. وتدعم هذه الاستجابة التفريقية[1] الفرضية القائلة إنّ الاحترار سيسبب ترديا (انخفاضا) في التنوع البيولوجي في المنظومات البيئية في مناطق خطوط العرض المرتفعة. وكذلك، فإن التحول من غطاء نباتي عشبي إلى غطاء من الغابات يمكنه أن يؤدي إلى زيادة الطاقة التي تمتصها الأرض في مقابل تلك المنعكسة منها والراجعة إلى الفضاء مؤدية إلى زيادة إضافية في درجة حرارة العالم.

قدّمت التجارب التي أجريت في خطوط عرض أخرى أدلة حول حدوث انقراضات محلية وهجرات متعددة وتغييرات في تركيب الأنواع. فقد قامت <C. كاندرسون> [من مختبر أوك–ريدج الوطني] بتعريض أربعة أنواع من الأشجار المتساقطة الأوراق إلى درجات حرارة أعلى بأربع درجات سيلزية من درجة حرارة المحيط الخارجي (*الصورة والشكل التوضيحي*)، فوجدت أن النباتات الصغيرة والشجيرات تتأقلم فيزيولوجيا وتُظهر في الكثير من الأحيان نموا معززا. إذ تظهر أوراق الأشجار في فصل الربيع مبكرة مدة تتراوح ما بين ستة أيام إلى أربعة عشر يوما، وتبقى محافظة على أوراقها الخضراء مدة أطول بعد دخول فصل الخريف مطيلة بذلك موسم النمو حتى ثلاثة أسابيع. ومع ذلك تبين أدلة قليلة أن النمو الربيعي المبكر كثيرا ما يعرض النباتات للصقيع المتأخر المهلك.

وعلى الرغم من النتائج المفيدة، فإنه من الصعب تعميم بيانات البقع الصغيرة على المنظومات البيئية. ولذلك لابد من إيجاد طرائق جديدة لتسخين مساحات أوسع. وتعتمد معظم التقنيات المقترحة على الكهرباء للتسخين، ولكن قد يكون الغاز الطبيعي أو الطاقة الحرارية الأرضية أفضل الخيارات للمواقع النائية.

تتمة الصفحة 49 ◄

المؤلفان



Stan Wullschleger   Maya Strahl

<ولشليكر> بيولوجي متخصّص بتغير المناخ وقائد مجموعة بيولوجيا المنظومات النباتية في مختبر أوك–ريدج الوطني في تينيسي. أجرى تجارب لاستكشاف تأثيرات الإغناء بثاني أكسيد الكربون والاحترار والجفاف في الغابات الطبيعية والمزارع والحقول القديمة. يقوم حاليا بتصميم واختبار تقانة التسخين على توندرا القطب الشمالي والغابات الشمالية.

<ستراهل> بيولوجية نباتية في مختبر كولد سبرينگ هاربر في نيويورك، وهي مشاركة سابقة في برنامج الخبرات البحثية في التعليم العالي بمختبر أوك–ريدج.

فعلى سبيل المثال، بينت تجارب حديثة أجراها <S. سميث> [من جامعة نيڤادا في لاس ڤيگاس] أن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في إحدى السنين التي كانت الأمطار فيها أكثر من المعتاد قد حفزت انتشار نبات **بروموس تكتوروم** *Bromus tectorum* أو **الشيتگراس** cheatgrass الذي يخفض تنوع الأنواع النباتية ويعدل السلسلة الغذائية ويزيد من احتمال حدوث حرائق.

- ومع أن غزو النباتات الغابية لأراضي الأعشاب في العالم خلال المئتي سنة الماضية قد حصل بسبب الرعي الجائر وإخماد الحرائق، إلا أن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو قد يسهم في زحف الأشجار والشجيرات إلى الولايات المتحدة الغربية.
- في المستقبل ستؤثر تراكيز ثاني أكسيد الكربون في النباتات بطرائق قد تؤثّر في صحة الإنسان العامة مثل إنتاج كميات كبيرة من غبار الطلع التي تثير فيه تفاعلات تحسسية، وزيادة نمو وسمّية نبات **اللبلاب** ivy السام والأنواع الأخرى الغازية المعادية.

مسائل معقدة(**)

إن نتائج التجارب الكبيرة الحقلية معبرة، غير أن معظم التحريات المنجزة في خطوط عرض متوسطة انحصرت في الغالب في الولايات المتحدة وأوروبا. ولذلك، نحن بحاجة إلى تجارب جديدة في مواقع تغطي مجالا أوسع من خطوط العرض لكي نستطيع التنبؤ بدقة باستجابات نباتات المناطق الشمالية والتوندرا والمدارية، إضافة

(*) TEMPERATURE: HIGHS AND LOWS
(**) Complex Questions
(1) differential response



إلى المنظومات البيئية. وسيتطلب التحضير لمثل هذه التجارب بضع سنين؛ لأنها قد تكون معقدة علميا وتُجرى في مناطق نائية. وقد تتطلب مقدارا كبيرا من العمل الهندسي للتأكد من أن الشروط المعدلة تنطبق بشكل موحد وأن البنية التحتية متينة بصورة تكفي للعمل بها سنين طويلة.

ويجب على البيولوجيين أيضا بناء منشآت تكون قادرة ليس فقط على تغيير كل من تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة وأنماط الهطل المطري، وإنّما تكون قادرة على تغيير هذه العوامل الثلاثة مجتمعة. ونحن لم نقم حتى الآن إلا بتلمس المشكلة. ويجري حاليا تقييم تجربة جديدة بالقرب من **شيين**[1] في ولاية وايومينگ تتعلق بالكيفية التي ستتصرف فيها نباتات البراري الشمالية المكونة من خليط من الحشائش في تغييرات مفترضة ومتزامنة في تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة. لقد وجد <J. مورگان> [الذي يعمل في مركز الأبحاث الزراعية التابع لوزارة الزراعة الأمريكية، في السنة الأولى لتجربة تسخين البراري (الأراضي العشبية) وإغنائها بغاز ثاني أكسيد الكربون] دلائل على أن التسخين المترافق بزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون قد يعزز من غزارة أعشاب الموسم الدافئ في الگريت پلينز Great Plains على حساب أعشاب الموسم البارد.

فما هي الطريقة الأفضل للتعامل مع عوامل متعددّة وكيف نفسّر تركيبات هذه العوامل، وبقدر الإمكان تغذياتها المرتدة، في نماذج من الأسئلة المعقدة. وعاجلا ما سنكون بحاجة إلى بيانات مستمدة من التجربة إذا أردنا أن نقدم العون إلى مجتمع يتوقع ويخطط ويتكيف مع مناخ يتغير بسرعة. ■

(*) HOW SOYBEANS FARE
(1) Cheyenne

كيف يتصرف فول الصويا(*)

الموقع: منشأة إغناء الهواء الطلق بغاز ثاني أكسيد الكربون، جامعة إلينوي في أوربانا – شامپين

نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون المرتفعة: 550 جزءا من المليون

نسبة الأوزون المرتفعة: 1.2 مرة من قيمة المحيط الخارجي

البقع: حلقات قطرها 20 مترا

التوقع: مستويات أعلى من الأوزون وغاز ثاني أكسيد الكربون متوقعة في منتصف القرن

النتائج: نمت نباتات فول الصويا بمقدار أكبر من الطبيعي، ولكنها كانت أكثر عرضة للتلف بسبب الخنافس اليابانية (*في الأسفل*)

مراجع للاستزادة

Next Generation of Elevated [CO_2] Experiments with Crops: A Critical Investment for Feeding the Future World. Elizabeth A. Ainsworth et al. in *Plant, Cell and Environment*, Vol. 31, pages 1317–1324; 2008.

Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. Alan K. Knapp et al. in *BioScience*, Vol. 58, No. 9, pages 811–821; October 2008.

Rising CO_2, Climate Change, and Public Health: Exploring the Links to Plant Biology. Lewis H. Ziska et al. in *Environmental Health Perspectives*, Vol. 117, No. 2, pages 155–158; February 2009.

Scientific American, March 2010

الحقيقة الناصعة(*)

توضح الاكتشافات الحديثة أصول غياب الشعر لدى البشر – وتشير إلى الدور المفتاحي للجلد العاري في بزوغ سمات بشرية أخرى.

<N. G. جابلونسكي>

من بين جميع **الرئيسيات**[1]، ينفرد الإنسان بامتلاكه جلدا عاريا من الشعر تقريبا. فلكل عضو آخر من أعضاء فصيلتنا الممتدة غطاء كثيف من الفرو – يتراوح من الفرو القصير الأسود الخاص بالقرد العواء ذي الذيل إلى فرو الأورانگ أوتان النحاسي المنساب– وهذا هو الحال لدى معظم الثدييات. نعم، نحن البشر لدينا شعر على أيدينا، وفي أماكن أخرى من أجسامنا، ولكن حتى أكثرنا شعرا يعتبر من حيث المبدأ عاريا قياسا بأقاربنا.

ولكن كيف استقر بنا المطاف في حال التعري من الشعر؟ هذا ما شغل العلماء لقرون عدة. فقد كان العثور على إجابات أمرا صعبا: إن معظم التحولات التي طرأت عبر مسيرة الارتقاء البشري – كالمشي بقامة منتصبة – مسجلة مباشرة في أحافير أسلافنا، فيما لم تحتفظ أية بقايا معروفة بآثار للجلد البشري. إلا أنه تبين للباحثين في السنوات القليلة الماضية، أن سجل الأحافير يعطي تلميحات غير مباشرة عن التحول من كثيفي شعر إلى قليليه. وبفضل هذه الأدلة والفهم العميق اللذين تكشفا بفضل علماء الوراثة ووظائف الأعضاء إبان العقد الماضي، تمكنت مع باحثين آخرين من صياغة تفسير مقنع لمسببات وتوقيت فقدان الفراء لدى البشر. وإضافة إلى تفسير سمة غريبة من سمات الإنسان، يعطي هذا الطرح لسمة الجلد العاري من الشعر دورا حاسما في ارتقاء السمات البشرية المميزة الأخرى، كأدمغتنا الكبيرة واعتمادنا على اللغة.

للشعر مهام(**)

كي نفهم السبب الذي جعل أسلافنا يفقدون شعر جلودهم، علينا في البدء أن نمعن التفكير في السبب الذي جعل لبعض الأنواع الأخرى جلودا فرائية. فالشعر هو نمط من غطاء الجسم تنفرد به الثدييات. إنه في الواقع يمثل العلامة الفارقة للفصيلة: فما من ثدييات إلا وتمتلك بعض الشعر على الأقل، وإن كان معظمها يزخر به. وهو يوفر عزلا وحماية من الرطوبة وضرر أشعة الشمس، ومن الطفيليات والجراثيم الممرضة. كما أنه يخدم أيضا كوسيلة للتمويه إذ يضلل المفترسين، وتسمح طرزه المميزة لأعضاء النوع الواحد بالتعارف. كما يمكن للثدييات أن تستعمل فراءها في عروض اجتماعية للدلالة على العدوانية أو الغضب: فعندما يرفع كلب ما شعر عنقه أو ظهره، على نحو لا إرادي ، فهو يرسل رسالة واضحة إلى متحديه بوجوب الابتعاد عنه.

ومع أن الفرو يخدم هذه الأهداف العديدة المهمة، إلا أن هناك عددا من سلالات الثدييات طوَّر شعرا دقيقا ومتناثرا حتى أمسى بلا نفع. والعديد من هذه المخلوقات يعيش تحت الأرض، أو يسكن الماء حصرا. ولدى بعض

مفاهيم مفتاحية

- **الإنسان هو النوع الوحيد المنتمي إلى الرئيسيات والذي جلده شبه عارٍ.**
- **انعدام الفرو كان استجابة للظروف البيئية المتغيرة، والتي أجبرت أسلافنا على الترحال لمسافات أطول بحثا عن الكلأ والماء.**
- **تشير تحاليل الأحافير** والجينات (المورثات) **genes إلى متى حصل هذا التحول.**
- **أسهم تطور غياب الشعر في بناء الإطار اللازم لبزوغ الأدمغة الكبيرة والتفكير الرمزي.**

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE NAKED TRUTH
(**) Hairy Situations
(1) primates



الثدييات التي تعيش تحت سطح الأرض، كالفأر عديم الذيل، حدث الصلع نتيجة للعيش في مستعمرات كبيرة تحت سطح الأرض، حيث يفقد الشعر أهميته؛ ذلك أنه ليس بمقدور هذه الحيوانات رؤية بعضها بعضا في ظلمة هذه الأنفاق، ولأن بنيتها الاجتماعية تحت الأرض تتيح لها التجمع عند الحاجة إلى الدفء. أما بالنسبة إلى الثدييات البحرية التي لا تخاطر بالخروج إلى اليابسة، كالحيتان، فإن جلدها العاري من الشعر يسهل لها الغطس والسباحة لمسافات طويلة، وذلك كونه يقلل من مقاومة الماء. ولكي تعوض هذه الحيوانات النقص في العزل الناجم عن غياب الشعر، تتراكم شحوم سميكة تحت جلودها. وعلى خلاف الثدييات البحرية، فإن الثدييات التي تألف العيش في كل من اليابسة والماء - **كلب الماء** Otter على سبيل المثال - لها فرو سميك عازل للماء يحتجز بداخله الهواء مما يساعد على الطفو، الأمر الذي يقلل من الجهد المفروض بذله في العوم؛ عدا عن كونه يحمي جلودها في اليابسة.

لقد طورت أضخم الثدييات الأرضية - وهي الفيلة ووحيدات القرن، وأفراس النهر - أيضا جلودا عارية من الشعر ويعود ذلك إلى الخطر الملازم الذي يعرضها للزيادة المفرطة في الحرارة. فكلما كان الحيوان أكبر وكلما كانت نسبة مساحة سطحه إلى مجمل كتلة جسمه أقل، ازدادت صعوبة التخلص من فائض حرارة الجسد. وبالمقابل، فإن الفئران والحيوانات الأصغر حجما، التي تكون نسبة مساحة سطحها إلى حجمها كبيرة، غالبا ما تجاهد للحفاظ على ما يكفيها من الحرارة. وخلال العصر الجليدي الأعظم (البليستوسين)، الذي امتد منذ نحو مليوني سنة وحتى 10 000 سنة خلت، فإن فيلة الماموث وأقرباءها الآخرين من الفيلة الحديثة ووحيدات القرن كانت ذات شعر «صوفي»، لأنها عاشت في بيئات باردة؛ حيث ساعدها العزل عن الخارج، الذي وفره هذا الشعر، على الاحتفاظ بحرارة أجسامها ومن ثم إنقاص حاجتها إلى الطعام. أما في عصرنا الحالي، فإن جميع الحيوانات العاشبة المفرطة في الضخامة تعيش في بيئات حارة جدا، ومن ثم سيؤدي احتفاظها بجلد فرائي إلى قتلها.

إن غياب الشعر لدى البشر ليس تطورا تكيفيا للعيش تحت الأرض أو في الماء - على الرغم من الاعتناق الشعبي لما يدعى **بفرضية القرد المائي** aquatic ape hypothesis [*انظر الإطار السفلي في الصفحة 57*]. كما أن غياب الشعر ليس وليد ضخامة حجم الجسم. بل إن هذا الجلد المتعري من الشعر هو نتيجة ضرورة تبريد الجسم؛ هذه الضرورة التي طالما انسجمت مع قدراتنا الفائقة على التعرق.

طرح الحرارة خارج الجسم بالتعرق(*)

لا تقتصر مشكلة الاحتفاظ بالجسم باردا على الثدييات العملاقة، بل تتعدى إلى العديد من الثدييات، خاصة تلك التي تعيش في أماكن حارة وتولّد قدرا كبيرا من الحرارة نتيجة المشي لمسافات طويلة، أو نتيجة الركض. ويتعين على تلك الحيوانات أن تضبط بدقة حرارة جسمها الداخلية، لأن فرط الحرارة قد يضر بأنسجتها وأعضائها، خاصة الدماغ منها.

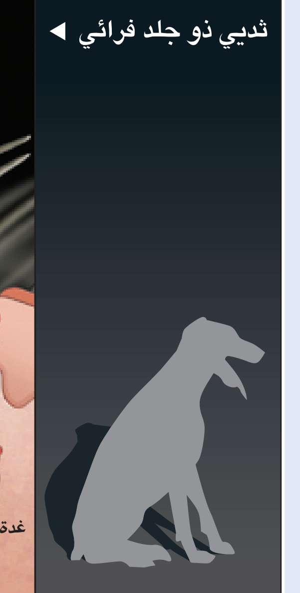
تستخدم الثدييات مجموعة من الأساليب المتباينة لتجنب الاحترار: فالكلاب تلهث بفواصل زمنية قصيرة، والعديد من أنواع القطط تنشط أكثر خلال ساعات المساء الأبرد، كما ويمكن للكثير من الوعول أن تفرّغ حرارة دم شرايينها إلى دم في أوردة دموية صغيرة سبق له أن تبرد عبر تنفس الوعل من خلال أنفه. أما بالنسبة إلى الرئيسيات، بما في ذلك البشر، فإن التعرق هو الاستراتيجية الرئيسية للتخلص

(*) Sweating It Out

[فوائد انعدام الشعر]

الفراء مقابل التعري(*)

يتفوق الجلد البشري العاري من الشعر في التخلص من حرارة الجسم الزائدة على الجلد المغطى بالفرو. ولدى الثدييات ثلاثة أنواع من الغدد المخصصة لهذه الغاية: غدد العرق الدهني، وغدد العرق المائي، والغدد الدهنية. وفي معظم الثدييات تحتوي طبقة الجلد الخارجية المعروفة بالبشرة الكثير من غدد العرق الدهني. وتتجمع هذه الغدد حول جريبات الشعر وتغلف شعر الفرو برغوة من العرق المدهن. ويتبخر هذا العرق فوق سطح الجلد مبردا الحيوان بسحبه الحرارة من جلده. ولكن بمقدار ما يزداد تعرق الحيوان، بمقدار ما تقل فاعليته في إبعاد الحرارة لأن الفرو يصبح أكثر تشابكا، ومن ثم أكثر منعا للتعرق. أما في البشرة البشرية، فتسود غدد العرق المائي. وتقع هذه الغدد قريبا من سطح الجلد، وتفرغ عرقها المائي الرقيق عبر المسامات الجلدية. وإضافة إلى تبخر هذا العرق المائي مباشرة من على سطح الجلد، فإنه يتبخر بسهولة أكبر من تبخر العرق الدهني، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين عملية التبريد.



من الحرارة الزائدة. فالتعرق يبرد الجسم عبر إنتاج سائل على سطح الجلد يزيل عقب تبخره الطاقةَ الحرارية الزائدة. وتعمل آلية تبريد مجمل الجسد هذه وفقا للمبدأ ذاته الذي يعمل به جهاز التبريد بالتبخر (الذي يعرف أيضا بالمبرد الرطب)، وهي آلية فعالة جدا في منع الاحترار الزائد الخطر على الدماغ وبقية أعضاء الجسم.

تتنوع طبيعة العرق. فجلد الثدييات يحتوي ثلاثة أنواع من الغدد، تنتج معا السائل المعروف بالعرق: **الغدد الدهنية** sebaceous، **غدد العرق الدهني** apocrine، **غدد العرق المائي (غدد زُهمية)** eccrine. فالغدد الدهنية وغدد العرق الدهني هي السائدة لدى معظم الأنواع وتوجد قرب قاعدة جريبات الشعر. وتلتئم مفرزات هذه الغدد لتغلف الشعيرات بخليط زيتي، يكون في بعض الأحيان رغوي الشكل (لنتذكر الرغوة التي تصدر عن حصان السباق، حينما يجري). يساعد هذا النوع من العرق على تبريد الحيوان، بيد أن قدرته على تبديد الحرارة محدودة. فقبل نحو عقدين من الزمن بيّن <E .G. فولك جونير> وزملاؤه [من جامعة أيوا] أن فاعلية التبريد تنقص حالما يصبح فرو الحيوان مبللا ومشبعا بهذا العرق الدهني السميك. وتنجم عدم فاعلية التبريد هذه عن أن التبخر يحصل عند سطح الفرو، وليس عند سطح الجلد ذاته، الأمر الذي يعيق انتقال الحرارة. وفي ظروف جفاف الطقس يصبح تحويل الحرارة غير كاف، مما يتعين على الحيوان شرب مقادير كبيرة من الماء، ربما لا يكون متاحا في حينه. إن الثدييات المغطاة بالفراء والتي تجبر على ممارسة عمل شاق أو لمدة طويلة في جو النهار الحار ستنهار نتيجة الإجهاد الحراري.

إضافة إلى افتقار الإنسان إلى الفرو، لديه عدد هائل من غدد العرق المائي – بين مليونين وخمسة ملايين غدة – التي يمكن أن يرقى إنتاجها اليومي من العرق المائي الخفيف إلى نحو 12 لترا. ولا تتركز غدد العرق المائي قرب جريبات الشعر؛ إنما تتوضع قريبا من سطح الجلد إلى حد ما وتفرغ العرق عبر مسامات دقيقة. إن هذه التوليفة المكونة من الجلد العاري من الشعر والعرق المائي والذي ينصب مباشرة فوقه

(*) FURRY VS. NAKED

إظهار بعض من الجلد(*)

إن البشر هم الرئيسيات الوحيدة التي تفتقر إلى الفراء وتمتلك في الوقت نفسه قدرا كبيرا من غدد التعرق، لابد إذن من أمر ما قد طرأ منذ أن افترقت سلالتنا الشبيهة بالبشر عن السلالة التي أفضت إلى أقرب أقاربنا الذين لا يزالون أحياء، أي الشمپانزيات؛ هذا الأمر الذي رجح ظهور الجلد المتعرق؛ وقد يكون من غير المستغرب أن يبدأ تحول كهذا بتبدل المناخ.

تبين للعلماء، الذين استخدموا أحافير الحيوانات والنباتات في إعادة بناء الشروط البيئية (إيكولوجية) القديمة، أنه بدءا من نحو ثلاثة ملايين سنة خلت دخل المناخ في طور برودة شملت جميع كوكبنا؛ طور أدى إلى جفاف نسبي في شرق ووسط إفريقيا، حيث

بدلا من التجمع في الفرو، تسمح للبشر بالتخلص من الحرارة الزائدة على نحو فعال جدا. ووفقا لبحث نشر لـ<E. D. ليبرمان> [من جامعة هارڤارد] و<M. D. برامبل> [من جامعة يوتا] في العام 2007 في مجلة *Sports Medicine*، تصل كفاءة نظام التبريد عند الإنسان إلى درجة تجعله يتفوق على حصان في سباق ماراثون يُجرى في يوم حار.

(*) Showing Some Skin

(**) Why the Aquatic Ape Theory Doesn't Hold Water

(١) the aquatic ape theory

(٢) يعرف هذا الغور بوادي الغور الإفريقي - العربي العظيم، الذي يبدأ بوادي نهر العاصي في سورية وينتهي في المحيط الهندي في جمهورية موزمبيق، مرورا بوادي البقاع، فوادي اليرموك الأردن، فنهر الأردن فالبحر الميت فوادي عَرَبة الأردني، فخليج العقبة، فالبحر الأحمر، فسهل الدناقيل الإثيوبي فبحيرة توركانا وسواها من البحيرات في كينيا، فتنزانيا، فموزمبيق. (التحرير)

[أفكار بديلة]

لماذا نظرية القرد المائي غير واقعية(**)

من بين العديد من النظريات التي تحاول تفسير تطور الجلد العاري من الشعر لدى البشر، جذبت إحداها معظم انتباه ودعم الرأي العام: إنها نظرية القرد المائي العديم الذيل (AAT)(١) والتي تذهب إلى أن البشر قد مروا عبر تطورهم بطور مائي. وأول من طرح هذه النظرية هو عالم الحيوان الإنكليزي السير <A. هاردي> في مقالة علمية شعبية نشرت في عام 1960، كما وجدت هذه النظرية فيما بعد نصيرا لها في الكاتبة <E. موركن> التي واصلت ترويجها في محاضراتها وكتاباتها. والمشكلة تكمن في أن هذه النظرية خاطئة تجريبيا .

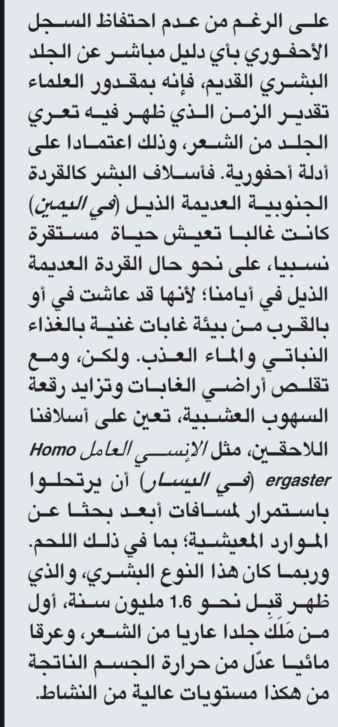
تتبنى هذه النظرية فكرة أن اضطرابات جيولوجية تكتونية (بنائية) tectonic، سبق أن حصلت قبل ما يتراوح بين نحو 5 إلى 7 ملايين سنة في وادي الغَوْر الكبير(٢) Rift Valley في شرق إفريقيا، قد فصلت الأسلاف المبكرين للبشر عن بيئاتهم الاستوائية المفضلة. ونتيجة لذلك تعين على هؤلاء الأسلاف أن يتبنوا أسلوب حياة نصف مائي في المستنقعات، على طول الشواطئ وفي السهول الفيضية، حيث عاشوا هنالك نحو مليون سنة أخرى. وتجادل <موركن> في أن الدليل على هذا الطور المائي يعتمد على بضع سمات تشريحية يشترك فيها البشر مع الثدييات المائية ونصف المائية، وهي السمات الغائبة عن ثدييات سهوب الساڤانا. وتشتمل هذه السمات على جلدنا العاري من الشعر، والعدد القليل من غدد العرق الدهني، والتوضعات الدهنية الموجودة تحت الجلد مباشرة.

ولا يمكن اعتماد هذه النظرية للأسباب الرئيسية الثلاثة التالية : فأولا ، تختلف الثدييات المائية ذاتها اختلافا جوهريا في درجة امتلاكها للسمات المائية التي حددتها <موركن>؛ ومن ثم فليس هناك أدنى ارتباط بسيط بين ، لِنَقُلْ، مقدار شعر حيوان ما والبيئة التي يعيش فيها. ثانيا، يُظهر السجل الأحفوري أن المواطن المائية كانت تعج بالتماسيح الجائعة، وبأفراس النهر العدوانية المزاج. ومن ثم ما من فرصة لأسلافنا صغار القامة العديمي الحيلة من مجابهة مخلوقات كهذه. ثالثا، النظرية مفرطة في التعقيد. إنها تدعي بأن أسلافنا قد انتقلوا من أسلوب حياة على اليابسة إلى أسلوب حياة نصف مائي، ثم عادوا ثانية إلى العيش على اليابسة. وكما بين <HG. لانكدون> [من جامعة إنديانا پولِس] هناك تفسير أكثر سهولة للسجل الأحفوري يستند إلى عيش البشر على الدوام على اليابسة، فالقوة المحركة لتطور الجلد العاري من الشعر يعود إلى التبدل المناخي والذي حبَّذ العيش في سهوب الساڤانا على العيش في الغابات. ومن منظور علمي، يعد التفسير الأبسط هو التفسير الأصح. <جابلونسكي>

[متى نشأ التعري عن شعر الجلد]

أسلاف متحركون(*)

على الرغم من عدم احتفاظ السجل الأحفوري بأي دليل مباشر عن الجلد البشري القديم، فإنه بمقدور العلماء تقدير الزمن الذي ظهر فيه تعري الجلد من الشعر، وذلك اعتمادا على أدلة أحفورية. فأسلاف البشر كالقردة الجنوبية العديمة الذيل (*في اليمين*) كانت غالبا تعيش حياة مستقرة نسبيا، على نحو حال القردة العديمة الذيل في أيامنا؛ لأنها قد عاشت في أو بالقرب من بيئة غابات غنية بالغذاء النباتي والماء العذب. ولكن، ومع تقلص أراضي الغابات وتزايد رقعة السهوب العشبية، تعين على أسلافنا اللاحقين، مثل *الإنسي العامل* *Homo ergaster* (*في اليسار*) أن يرتحلوا باستمرار لمسافات أبعد بحثا عن الموارد المعيشية؛ بما في ذلك اللحم. وربما كان هذا النوع البشري، والذي ظهر قبل نحو 1.6 مليون سنة، أول من مَلَكَ جلدا عاريا من الشعر، وعرقا مائيا عدّل من حرارة الجسم الناتجة من هكذا مستويات عالية من النشاط.



◄ كان القرد الجنوبي العفاري(1)، الممثل هنا بالبقايا الأحفورية للأنثى «لوسي» التي يعود تاريخها إلى نحو 3.2 مليون سنة، قردا عديم الذيل بأطراف سفلية قصيرة غير ملائمة للترحال إلى مسافات طويلة.

عاش أسلاف البشر. ومع تضاؤل هطلان المطر، تبدلت بيئات الغابات التي كان أوائل **أشباه البشر**(2) يحبذونها وتحولت إلى أراض مفتوحة انتشرت فيها أعشاب **السافانا**(3)، ومن ثم نَدَر الطعام الذي كان يعتمد عليه أسلافنا المعروفون **بالقردة الجنوبيين**(4) australopithecines – الثمار، والأوراق، والجذور الدرنية والبذور – وغدا وجوده أكثر تناثرا وتأثرا بفصول السنة، على نحو ما حصل لموارد الماء العذب الدائمة. ونتيجة لهذا التضاؤل في الموارد، تعين على أسلافنا أن يتخلوا عن عادة جمع الطعام السهلة نسبيا لصالح أسلوب حياة أكثر انسجاما وديمومة. وكي يتجنبوا العطش ويتوفر لديهم ما يكفيهم من سعرات حرارية، كان عليهم أن يرحلوا لمسافات أبعد فأبعد بحثا عن الماء والطعام النباتي.

لقد شرع أشباه البشر في ذلك الطور بإدخال اللحم في نظامهم الغذائي. وقد كشف عن ذلك شكل الأدوات الحجرية وعظام الحيوانات المجزورة التي وجدت في السجل الأحفوري قبل نحو 2.6 مليون سنة. فالأغذية الحيوانية أغنى كثيرا بالسعرات الحرارية من الأغذية النباتية، إلا أنها نادرة الوجود في بيئة السافانا. وقد تعين على الحيوانات اللاحمة في بحثها عما يكفي من الغذاء أن ترحل لمسافات أبعد وأوسع من تلك التي تقطعها الحيوانات العاشبة. ولما كانت الفرائس الحيوانية أهدافا متحركة، باستثناء الجيف التي يمكن العثور عليها

قهر الحرارة(**)

لم يكن الجلد العاري من الشعر التكيف الوحيد الذي تطور لدى البشر في البقاع الاستوائية الحارة للمحافظة على درجة حرارة الجسم الملائمة. فقد تطورت أيضا أطرافهم إلى أطراف أطول، مما زاد من نسبة سطح الجسم إلى حجمه، الأمر الذي سهّل بدوره التخلص من الحرارة الزائدة. ويبدو أن هذا التوجه مازال ساريا في أيامنا الراهنة. ويأتي أفضل دليل على استمرارية هذا التكيف من سكان شرق إفريقيا، كقبائل الدينكا Dinka في جنوب السودان. ومن المؤكد، أنه ليس من باب الصدفة أن يمتلك هؤلاء القوم، الذين يعيشون في واحدة من أكثر بقاع أرضنا حرارة، أطرافا مفرطة الطول. ولكن لماذا يبدي البشر الحديثون تنوعا كبيرا في تناسب الأطراف؟ والجواب يتمثل بأنه حالما هاجر أسلافنا من إفريقيا الاستوائية، إلى أصقاع أبرد، تبدلت الضغوط الانتخابية (الاصطفائية) **selection pressures، الأمر الذي سمح بظهور تشكيلة من القامات البشرية.**

(*) ANCESTORS ON THE MOVE

(**) BEATING THE HEAT

(1) **عفار** هي منطقة قاحلة تقع إلى الشمال من وادي أواش الأوسط الواقع إلى شمال شرق أديس أبابا عاصمة إثيوبيا، وإلى جنوب غرب جمهورية جيبوتي الواقعة على خليج عدن.

(2) **شبيه البشر** Hominid هو من الرئيسيات، وينتمي إلى فصيلة تعرف بفصيلة البشريات وهي تضم أجناسا عديدة انقرضت جميعها ما عدا جنسنا البشري، المعروف بجنس الإنسان العاقل الحديث.

(3) عبارة عن سهول منبسطة معشوشبة في إفريقيا الاستوائية والمدارية، تتخللها في بعض الأحيان الأشجار المتناثرة.

(4) رئيسيات منقرضة من شبيهات البشر كانت توجد في جنوب وشرق إفريقيا، ووصفت بالجنوبية؛ لأنه قد عثر على أحافيرها الأولى في جنوب إفريقيا. (التحرير)



◄ لقد كان *الإنسي العامل* أول شبيه بالبشر له أطراف سفلية طويلة وقوية. وهو يتمثل هنا بهيكل طفل بحيرة توركانا[١] العظمي الذي يعود تاريخه إلى نحو 1.6 مليون سنة. وقد ساعدت أطرافه المتطاولة على المشي والجري.

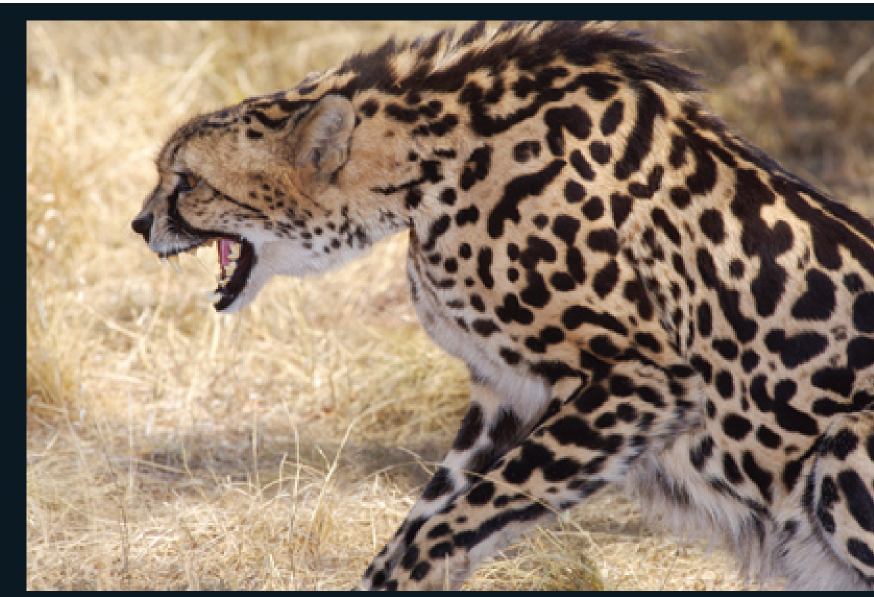
من حين لآخر، تعين أن تبذل الحيوانات المفترسة طاقة أكبر بكثير للحصول على وجبتها من اللحم. ففي حالة الصيادين **والكناسين**[٢] scavengers البشريين، حوّر الانتخاب (الاصطفاء) الطبيعي تناسبَ أعضاء أجساد أشباه **القردة الجنوبية العديمة الذيل**[٣] والتي كانت تقضي بعضا من أوقاتها فوق الأشجار، إلى أجساد طويلة السيقان، مصممة للمشي بخطوات واسعة والجري أيضا. (ولا شك في أن هذا الشكل الحديث قد ساعد أسلافنا على تجنب أن يصبحوا هم بالذات فريسة في العراء).

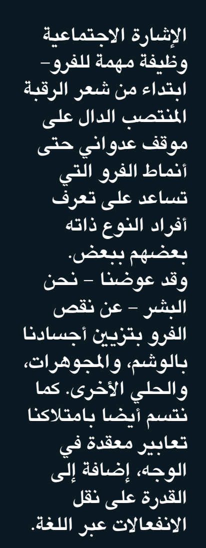
بيد أن هذه المستويات العالية من النشاط لم تكن من دون ثمن: إذ تزايد خطر الاحترار تزايدا كبيرا. ففي بدايات ثمانينات القرن العشرين، نشر ‹P. ويلر› [من جامعة جون موورز في إنكلترا] سلسلة من الأبحاث العلمية حاكى فيها الحرارة التي بلغها أسلافنا البشريون في سهوب الساڤانا. وأظهرت أبحاث ‹ويلر› والأبحاث التي أجريتها وزملائي التي نشرت في عام 1994، أن تجنب فرط الحرارة الناتج من المشي والجري المتزايد، أي إبان ما يتحرر من النشاط العضلي داخل الجسم من طاقة حرارية، اقتضى تعزيز القدرة على التعرق المائي وفقدان شعر الجسم لدى أشباه البشر.

لم يكن التطور إلى جلد عار من الشعر مجرد وسيلة للوصول إلى هدف معين؛ بل كانت له نتائج عميقة أثرت في الأطوار اللاحقة من الارتقاء البشري.

متى حصل هذا التحول؟ مع أن السجل الأحفوري لا يحفظ الجلد، إلا أن هناك تصورا تقريبيا حول الزمن الذي شرع فيه أسلافنا في الانخراط بأنماط التحرك الحديثة. بينت الأبحاث التي أجراها بشكل مستقل كل من ‹ليبرمان› و ‹C. رَف› [من جامعة جونز هوپكنز] أن عضوا مبكرا من جنسنا، يعرف «***بالإنسي العامل***» *Homo ergaster* قد طوّر قبل نحو 1.6 مليون سنة التناسب الأساسي في أعضاء جسده الذي

(١) بحيرة ضحلة العمق تقع في كينيا في شرق إفريقيا، وهي جزء من الغور الإفريقي العربي الكبير.
(٢) هو الحيوان الذي يقتات على بقايا الحيوانات التي يقتلها حيوان آخر، ومن أمثلته الضبع.
(٣) australopithecines





الإشارة الاجتماعية وظيفة مهمة للفرو- ابتداء من شعر الرقبة المنتصب الدال على موقف عدواني حتى أنماط الفرو التي تساعد على تعرف أفراد النوع ذاته بعضهم ببعض. وقد عوضنا - نحن البشر - عن نقص الفرو بتزيين أجسادنا بالوشم، والمجوهرات، والحلي الأخرى. كما نتسم أيضا بامتلاكنا تعابير معقدة في الوجه، إضافة إلى القدرة على نقل الانفعالات عبر اللغة.

مكّنه من المشي والجري لمسافات طويلة أيضا. إضافة إلى ذلك، فإن تفاصيل سطوح مفاصل الكعب والركبة وعظم الورك توضح أن أشباه البشر هؤلاء كانوا بالفعل يبذلون جهودا كبيرة في هذين المجالين. إذن، ووفقا للدليل الأحفوري، فإن الانتقال إلى الجلد العاري من الشعر وإلى نظام تعرق أساسه غدد العرق المائي، حصل بالفعل قبل نحو 1.6 مليون سنة وذلك كي يزيل الأحمال الحرارية الزائدة والتي رافقت الأسلوب الجديد لحياة أسلافنا المفعم بالحيوية.

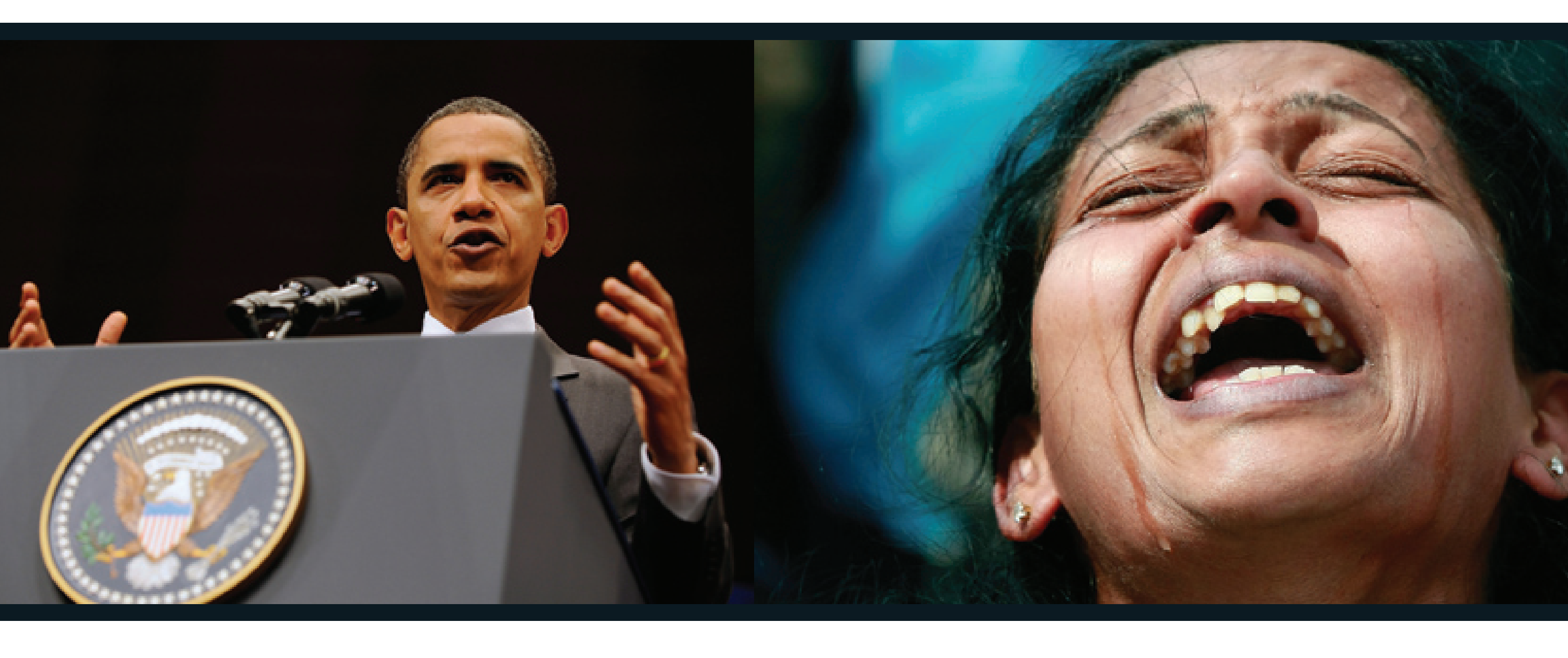
جاء دليل آخر عن الزمن الذي طوّر فيه أشباه البشر الجلد العاري من الشعر من تحريات تمت في مجال علم جينات لون الجلد. ففي دراسة ماهرة نشرت في العام 2004، فحص <A. R.> روجرز> وزملاؤه [من جامعة يوتا] تسلسلات الجين البشري الذي يحمل الرمز "*MC1R*"، وهو من جملة الجينات المسؤولة عن إنتاج المواد الملونة للجلد. وقد بيّن الفريق أن نسخة محددة من الجين، موجودة باستمرار لدى الأفارقة ذوي الجلد الداكن اللون، ظهرت إلى الوجود قبل نحو 1.2 مليون سنة. ويظن بأن جلود أسلافنا البشريين قد كانت أكثر ميلا إلى اللون الزهري ومغطاة بفرو أسود، على نحو ما عليه حال جلد الشمبانزي في أيامنا؛ ويفترض أن تطور الجلد الدائم الدكنة كان عاقبة تطورية لابد منها تلت فقدان شعر جسدنا الواقي من الشمس. وهكذا، فإن تقدير <روجرز> يعطينا العمر الأدنى لفجر التعري من الشعر.

بعمق الجلد(*)

والقضية الأقل يقينا من: لماذا ومتى صرنا عراة من الشعر، هي قضية كيف طور أشباه البشر جلدا عاريا من الشعر. فمن الصعب تحديد الدليل الجيني على تطور التعري من الشعر، لأن العديد من الجينات تسهم في صياغة مظهر ووظيفة جلودنا. ومع ذلك، فإن هناك دلائل نتجت من المقارنات الواسعة النطاق بين «**أحرف تكويد**» **الدنا** "code DNA letters"، أو **النكليوتيدات** (**النوويدات**)(1) nucleotides في كامل الجينوم المورثي لمختلف **المتعضيات** organisms. وتكشف مقارنة الجينوم المورثي للإنسان بالشمبانزي عن أن أكثر الاختلافات دلالة بين حمضنا النووي (الدنا) وحمض

(*) Skin Deep

(1) هي الوحدات الأساسية المكونة لجزيئات الحمضين النوويين (الدنا) و (الرنا)، وتتكون من ثلاثة أجزاء: قاعدة نتروجينية وجزيء فوسفاتي وجزيء سكر. (التحرير)



الشمبانزي النووي (الدنا) هو الاختلاف الكامن في الجينات التي تكود للبروتينات التي تتحكم في سمات الجلد. فالنسخ الخاصة بالبشر من هذه الجينات تكود للبروتينات التي تساعد على جعل جلودنا، بشكل خاص، غير نفوذة للماء ومقاومة للتآكل، وهي سمات حاسمة في ظل غياب الفرو الواقي. ويدل هذا الاكتشاف على أن ظهور هذه النسخ من الجينات قد شارك في نشوء التعري من الشعر بتقليله من عواقب هذا التعري.

لقد انبثقت قدرات جلدنا المتميزة على الصد من بنية ومكونات طبقته الخارجية، **الطبقة المتقرنة** stratum corneum من قسم الجلد المعروف **بالبشرة** epidermis. تمتلك الطبقة المتقرنة ما وصِف بمركب اللبنات والملاط. وفي هذا التركيب، تتكون اللبنات من طبقات متعددة من الخلايا المنبسطة الميتة، والتي تدعى بالخلايا المتقرنة، التي تحوي بروتين **القَرْنِين (الكيراتين)**[١] keratin ومواد أخرى؛ وأما الملاط الذي يحيط بالخلايا المتقرنة، فهو مكوّن من طبقات مفرطة الرقة من المواد الدهنية **(الليپيدات)**[٢] lipids.

إن معظم الجينات التي توجه تطور الخلايا المتقرنة القديمة النشأة، وتسلسلها محفوظ حفظا جيدا لدى الفقاريات. كما أن تميز الجينات التي تجعل الخلايا القرنية قوية لدى البشر إلى هذا الحد يعني أن ظهور هذه الجينات كان مهما للبقيا. وهذه الجينات تكود إنتاج توليفة فريدة من البروتينات التي لا توجد إلا في البشرة، بما في ذلك أنماط متفردة من بروتيني القَرنِين **والإنڤولوكرين**[٣] involucrin. يحاول في الوقت الراهن العديد من المختبرات فهم الآليات المسؤولة عن تنظيم تصنيع هذه البروتينات.

ويتفحص الآن باحثون آخرون تطور بروتينات القَرنين في شعر الجسد، بهدف تحديد الآليات المسؤولة عن ندرة ونعومة الشعر على سطح الجسم البشري. وفي هذا السياق أظهر <R. مول> وزملاؤه [من جامعة فيليبس في مدينة ماربورگ الألمانية] أن بروتينات القَرْنين الموجودة في شعر

من القمل والبشر(*)

في السنوات القليلة الماضية التفت الباحثون إلى القمل بحثا عن أدلة تبين السبب وراء فقدان البشر شعرَ جلودهم. ففي العام 2003 اقترح <M. پاكل> [من جامعة ريدن في إنكلترا] و<W. بودمر> [من مستشفى رادكليف Radcliffe في أكسفورد] أن البشر قد تخلصوا من فراء جلودهم لتجنب القمل الذي ينشر الأمراض والطفيليات الأخرى التي تستقر في الفرو، وكذلك للإعلام عن صحة جلودهم. كما درس باحثون آخرون قمل الرأس والجسم لمعرفة توقيت بدء أسلافنا بتغطية أجسامهم بالملابس بعد أن أصبحوا ذوي جلود عارية من الشعر. وعلى الرغم من أن قمل الجسم يتغذى بالدم، فإنه يعيش في الملابس. وبناء عليه، فإن معرفة أصل قمل الجسم يعطينا تقديرا أدنى لفجر ارتداء أشباه البشر للملابس. وبمقارنة جينات المتعضيات يمكن للباحثين أن يقدروا التوقيت التقريبي الذي ظهر فيه نوع هذه المتعضيات. وتشير هكذا تحليلات مطبقة على القمل إلى أنه بينما تطفل قمل الرأس على البشر منذ البداية، فإن قمل الجسم قد نشأ لاحقا. ويستدل من زمن ظهور نمطي القمل هذين أن تعري البشر من شعر جلودهم سبق ارتداءهم للملابس بأكثر من مليون سنة.

(*) OF LICE AND MEN

(١) هو بروتين مشتق من كلمة **قرن** Kerat الإغريقية القديمة، وهو بروتين ليفي غير قابل للذوبان في الماء، وهو المكون الأساسي لكل من القرون والحوافر والأظافر والشعر.

(٢) شحوم غير قابلة للذوبان في الماء تشتمل على الزيوت والشحوم والشمع وسواها من المركبات الحيوية؛ والتسمية مشتقة من كلمة «ليپوس» الإغريقية التي تعني شحما.

(٣) بروتين بنيوي يتشكل في الطبقة الشوكية من البشرة، ويوفر للخلية التي تحويه القدرة على مقاومة الجراثيم.

(التحرير)

الجسد البشري ضعيفة إلى حد كبير، الأمر الذي يفسر السهولة الكبيرة في تقصف هذه الأشعار مقارنة بشعور الحيوانات الأخرى. وتوحي هذه النتيجة المفصلة في بحث <مول> المنشـــور في العام 2008 أن بروتينات قَرْنين الشعر البشري لم تكن لبقاء البشر على ذات القدر من الأهمية الـــذي كان لمثيلاتها لدى بقية الرئيســـيات؛ مما جعل هذه البروتينات ضعيفة في شعر البشر.

مسألة أخرى يتوق علماء الوراثة إلى أن يجـــدوا لها جوابا، وهـــي الكيفية التي أدت بالجلد البشـــري إلى أن يحتوي هذه الكثرة من غدد العـــرق المائي. ومـــن المؤكد تقريبا أن هـــذا التراكم قد حصـــل عبر تبدلات في الجينات التي تحدد مصير **الخلايا الجذعية البشـــروية** epidermal stem cells في الجنين؛ وهي خلايـــا غير متخصصـــة. ففي مرحلة مبكرة من تطور الجنين، تتآثر مجموعات من الخلايا الجذعية البشروية الموجودة في أماكن محـــددة في خلايا الجزء من الجلد المعروف **بالأدمة** dermis الواقع تحت البشـــرة، ومن ثم تعمل إشـــارات كيميائية موجودة في هذه المواضـــع، تتحكم فيها الجينات، على توجيه تمايز الخلايا الجذعية إلى جريبات شـــعر، وغدد عرق مائي، وغـــدد عرق دهني، وغدد دهنية، أو مجرد بشـــرة. ويبحث العديد من فرق الباحثين حاليا في كيفية نشوء الجيوب عـــن الخلايا الجذعية البشـــروية وفي كيفية بقائها؛ ومن ثم لابد أن توضح هذه الأبحاث ما الـــذي يوجه مصير هذه الخلايا الجنينية البشـــروية، وكيفية تحول العديد منها، لدى البشر، إلى غدد عرق مائي.

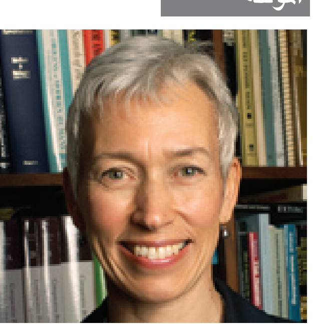
ليس عاريا تماما من الشعر(*)

بغـــض النظر عن كيفيـــة تطورنا إلى قردة عاريـــة من شـــعر الجلـــد، فإن التطـــور ترك أجزاء قليلة من جسمنا مغطاة بالشعر. ومن ثم يتعين على أي تفســـير لفقدان البشر لفرو جلودهم أيضا توضيح ســـبب احتفاظهم بهذا الفرو في بعـــض الأماكن. فالشـــعر الموجود تحـــت الإبطين وحول الأعضاء التناســـلية بما في ذلك الخصيتين يســـتخدم لغايتين: نشـــر **الفيرومونات** pheromones (مركبات كيميائية تســـتخدم لاستثارة اســـتجابات سلوكية لدى أشخاص آخرين)، وللمساعدة على تزييت هذه المناطق اتقاء من الاحتكاك أثناء الحركة. وأما بالنســـبة إلى الشـــعر الذي على الرأس، فمن المرجح جدا أنه بقي للمساعدة على تشكيل واق ضد الحرارة الزائـــدة في قمة الرأس. وربما يبدو هذا الرأي مثار جدل، إلا أن وجود شعر كثيف على الرأس يخلق طبقة هواء حاجزة بين جلد الرأس المتعرق وسطح الشعر الحار. ومن ثم، فإن الشـــعر في يوم حار مشـــمس يمتص الحرارة بينما تبقى طبقة الهواء الحاجزة أبرد، الأمر الذي يســـمح لعرق جلد الرأس بالتبخر باتجـــاه طبقة الهـــواء الحاجزة تلـــك. ويعتبر الشـــعر الأجعد غطاء الـــرأس المثالي في هذا السياق؛ لأنه يزيد من سمك الفضاء الذي بين سطح الشعر وجلد الرأس، مما يسمح للهواء بالتحرك عبـــره. بيد أن هنـــاك الكثير مما لم يكتشف بعد حول تطور شعر الرأس البشري، ومن المحتمل أن الشـــعر المحكـــم التجعد كان أصل شعر البشر الحديثين، وأن أنماط الشعر الأخرى قد تطورت عنه عند خروج البشـــر من إفريقيا الاستوائية.

والقضيـــة المرتبطـــة بشـــعر أجســـادنا هـــي تلك المتمثلة بالســـبب الكامن وراء هذا القدر الكبير مـــن التنوع. فهنالك العديد من المجموعات البشـــرية التي نـــادرا ما تظهر أجســـاد أفرادها أي شـــعر، بينمـــا تعتبر مجموعات أخرى شـــعوبا مُشْـــعِرة. وعادة مـــا تميل مجموعـــات الأفراد الأقل شـــعرا إلى العيـــش في المناطق الاســـتوائية، بينما تنحو مجموعات الأفراد الأكثر شـــعرا إلى العيش خـــارج هـــذه المناطق الاســـتوائية؛ علمـــا بأن شـــعر البشـــر الذين يعيشـــون

(*) Not Entirely Nude

المؤلفة



Nina G. Jablonski

رئيسة دائرة علم الإنسان (الأنثروبولوجيا) في جامعة ولاية بنسلڤينيا. يركز بحثها على التاريخ الطبيعي للجلد البشري، وعلى أصل المشية المنتصبة، وعلى تطور الجغرافية الحيوية لقردة العالم القديم، وعلى دراسة البيئة القديمة (الإيكولوجيا القديمة) للثدييات التي عاشت طوال المليوني سنة الماضية. قامت بأبحاث ميدانية في الصين وكينيا ونيپال. وهذا المقال هو مقالها الثاني لمجلة ساينتفيك أمريكان. وتصف مقالتها الأولى «قتامة الجلد البشري»، وقد ألفتها مشاركة مع <G. شاپلن> ونشرت في العلوم، العددين 7/6 (2003)، صفحة 16.

خارج هذه المناطق الاستوائية لايزودهم بدفء يذكر. ومن الواضح أن التباينات في مقدار الشعر سببها إلى حد كبير هرمون **التيستوستيرون**[1] testosterone. ذلك لأن الذكور في جميع مجموعات البشر أكثر شعرا من الإناث. وفي محاولة لتفسير هذا الاختلاف، تعزو بعض النظريات السبب إلى **الانتخاب (الاصطفاء) الجنسي** sexual selection. فعلى سبيل المثال، ترى إحدى هذه النظريات أن الإناث يفضلن ذكورا بلحية مكتملة وشعر جسد كثيف لأن هذه السمات تأتي مع تلك المرتبطة بالذكور المتصفين بالخصوبة والقوة، وتفترض نظرية أخرى أن الذكور يفضلون الإناث اللواتي يظهرن سمات أكثر طفولية. وهاتان النظريتان الافتراضيتان مثيرتان. ولكن ما من أحد قد اختبر صحتهما فعليا لدى مجموعات البشر الحديثين؛ ومن ثم فنحن لا نعرف، على سبيل المثال، ما إذا كان الرجال المُشعرون هم بالفعل أكثر حيوية أو خصوبة جنسية من أقرانهم الأقل شعرا. وفي ظل غياب أي دليل تجريبي، فإن باب التخمين حول سبب تباين شعر الجسد البشري يظل مفتوحا.

طموحات ناصعة(*)

لم يكن التحول إلى جلد عار من الشعر مجرد وسيلة للوصول إلى هدف؛ فقد كانت له نتائج عميقة أثرت في الأطوار اللاحقة من التطور البشري. إن فقدان معظم شعر أجسادنا والقدرة على تبديد حرارة الجسد الزائدة عبر العرق الصادر عن غدد العرق المائي قد سمحا بالتوسع الهائل لأكثر أعضائنا تحسسا للحرارة: الدماغ. فبينما بلغ متوسط حجم أدمغة القردة الجنوبية نحو 400 سنتمتر مكعب - وهو ما يقارب حجم دماغ الشمپانزي - وصل دماغ *الإنسي العامل* إلى ضعفي هذا الحجم، وتضخم حجم الدماغ البشري 400 سنتمتر مكعب أخرى في بحر مليون سنة أخرى، ليبلغ بذلك حجمه الحديث. ومما لا شك فيه أن عوامل أخرى قد أثرت في توسع مادة الدماغ الرمادية؛ كتبني غذاء ينتج منه قدر كاف من السعرات الحرارية اللازمة لتغذية هذا النسيج بالطاقة. إلا أن تخلصنا من شعر أجسادنا كان بالتأكيد خطوة حاسمة في طريق صيرورتنا مفرطي ذكاء.

كان لقلة شعر أجسادنا عواقب اجتماعية أيضا. وعلى الرغم من أنه بمقدورنا من منظور تقني أن نرفع شعر رقابنا عندما تتقلص العضلات الموجودة في قاعدة جريبات الشعر وتنبسط، إلا أن شعر أجسادنا الرفيع جدا والخفيف لا يُمَكِننا من أداء استعراض كالذي تؤديه قططنا وكلابنا، أو أقاربنا الشمپانزيات. كما أننا لا نملك القدرة ذاتها على إعلام الغير - أو التمويه - التي لدى حيوانات أخرى، ممثلة بخطوط جلد حمار الوحش، أو بقع الفهد، أو سوى ذلك. وبالفعل، يمكن للمرء أن يخمن أن السمات الإنسانية العامة كالخجل وتعابير الوجه المعقدة قد تطورت للتعويض عن فقدان قدرتنا على التواصل عبر فرائنا. وعلى نحو مماثل، فإن الرسم على الجسد، ومستحضرات التجميل، والأوشام، والأنماط الأخرى من تزيين الجلد الموجودة في جميع الحضارات في شكل توليفات متباينة، والتي تنم عن الانتماء إلى جماعة، وعن المركز الاجتماعي، وعن معلومات اجتماعية حيوية أخرى، كان الفرو يرمز إليها فيما سبق. كما أننا نستخدم أيضا الأوضاع والهيئات الجسدية للتعبيرعن حالتنا العاطفية ونوايانا. نستخدم أيضا اللغة للتعبير عما في أدمغتنا تعبيرا مفصلا. والجلد العاري من الشعر ـ إن توجهنا إليه من هذا المنظور ـ لم يقتصر فقط على تبريدنا، بل جعل منا بشرا. ■

(*) Naked Ambitions

(1) هرمون ذكوري تنتجه الخصيتان. (التحرير)

مراجع للاستزادة

Skin Deep. Nina G. Jablonski and George Chaplin in *Scientific American,* Vol. 287, No. 4, pages 74–81; October 2002.

Genetic Variation at the MC1R Locus and the Time since Loss of Human Body Hair. Alan R. Rogers, D. Iltis and S. Wooding in *Current Anthropology,* Vol. 45, No. 1, pages 105–108; February 2004.

Initial Sequence of the Chimpanzee Genome and Comparison with the Human Genome. Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium in *Nature,* Vol. 437, pages 69–87; September 1, 2005.

Skin: A Natural History. Nina G. Jablonski. University of California Press, 2006.

The Evolution of Marathon Running: Capabilities in Humans. Daniel E. Lieberman and Dennis M. Bramble in *Sports Medicine,* Vol. 37, Nos. 4-5, pages 288–290; 2007.

Scientific American, February 2010


المجلد 26 العددان 8/7
يوليو/ أغسطس 2010


طاقة الدماغ الخفية(*)

عندما تهيم عقولنا، لعلنا نجد في مناطق الدماغ الناشطة مفتاحا لفهم الاضطرابات العصبية، لا بل حتى الوعي نفسه.

<M. E. ريتشيل>

تخيل أنك تجلس متكاسلا على كرسي استراحة في الهواء الطلق يغالبك النعاس وفي حِجْرِك مجلة. وفجأة تحط ذبابة على ذراعك، فتمسك بالمجلة وتضرب بها الذبابة ضربة عنيفة. ماذا حدث في دماغك بعد ما لامست الذبابة جلدك؟ وماذا كان يحدث فيه قبل ذلك مباشرة؟ لقد ظل العديد من علماء الجهاز العصبي يعتقدون لأمد طويل أن معظم النشاط العصبي داخل رأسك أثناء الراحة يتوافق مع حالة الوسن والتراخي التي تكون أسيرا لها. وتبعا لهذا التصور، فإن نشاط الدماغ المستريح لا يمثل أكثر من صخب عشوائي يشبه وشيش شاشة التلفاز عند انقطاع البث عنه. فعندما تحط ذبابة على ساعدك، فإن دماغك يركز على مهمة واعية هي سحق الذبابة. إلاّ أن الدراسات التي تستخدم تقنيات التصوير العصبي قد كشفت لنا مؤخرا عن أمر ملفت للانتباه فعلا، وهو أن الدماغ، أثناء خلود صاحبه إلى الراحة وتوقفه عن القيام بأي فعل كان، لا يستكين، بل يبقى فعّالا ويؤدي أعمالا هادفة وذات أهمية بالغة.

لقد تبين أخيرا، أن المناطق المتباعدة في الدماغ – أثناء استرخاء عقلك عندما تكون مثلا جالسا على كرسي مريح ومستغرقا في أحلام اليقظة، أو مستلقيا على الفراش، أو مُخَدّرا في غرفة العمليات الجراحية – لا تتوقف عن عملها بل تستمر بتبادل الرسائل فيما بينها، وهو ما اعتبر إحدى خصائص الدماغ واصطلح على تسمية هذه الحالة: «**عمل الدماغ اللامُرَكز على مهمة واعية**» (DM)[1]. ويستهلك الدماغ في هذه الحالة التي لا تعرف الاستكانة، طاقة تتجاوز بكثير نظيرتها في الحالة المقابلة (حالة الدماغ المُرَكز على مهمة معينة)؛ فهي أكبر بعشرين مرة تقريبا من الطاقة التي يحتاج إليها الدماغ عندما يرتكس بطريقة واعية على ذبابة مزعجة أو غيرها من المنبهات الخارجية. وإن معظم النشاطات التي نقوم بها بصورة واعية، كالجلوس لتناول طعام العشاء أو إلقاء محاضرة، تمثل خروجا عن العمل **القاعدي الأساسي**[2] للدماغ في العمل DM.

لقد كان المفتاح لفهم العمل DM لعمل الدماغ هو اكتشاف إحدى منظومات الدماغ التي لم تكن معروفة حتى ذلك الحين، وقد اصطُلح على تسمية هذه المنظومة: **شبكة عمل الدماغ اللامركز على مهمة واعية** (DMN)[3]. ومع أن الدور الحقيقي الذي تؤديه هذه الشبكة في تنظيم النشاط العصبي لا يزال قيد البحث، فهناك من يعتقد اليوم أن هذه الشبكة تقوم بتنسيق الأسلوب الذي يستخدمه الدماغ لتنظيم منظومة وظائف الذاكرة وعدد آخر من المنظومات التي تحتاج إلى تحضير كي تكون على أهبة الاستعداد للتعاطي مع أحداث المستقبل: فالمنظومة الحركية للدماغ – مثلا – يجب أن يزداد معدل نشاطها لتكون مستعدة للرد على الإحساس بلدغة ذبابة حطت على ذراعك. كما أن الشبكة DMN يمكن أن تؤدي دورا حيويا في عملية مزامنة الأنشطة

مفاهيم مفتاحية

- لقد ظل علماء الجهاز العصبي يعتقدون طويلا أن دارات الدماغ تتوقف عن العمل عندما يكون الشخص في حالة الراحة.
- ولكن تجارب تقنيات التصوير أظهرت وجود مستوى دائم من النشاط خلف الكواليس.
- قد يكون عمل الدماغ اللامُركز على مهمة واعية (DM)[1]، كما يُسمى، ذا أهمية قصوى في التخطيط للأفعال المستقبلية.
- قد يؤدي الخلل في الوصلات ما بين مناطق الدماغ المشاركة في العمل DM إلى طيف واسع من الاضطرابات بما فيها ألزهايمر والفصام.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THE BRAIN'S DARK ENERGY
(١) the brain's default mode
(٢) baseline
(٣) the brain's default mode network أو الوتيرة الطبيعية لعمل الدماغ. (التحرير)

المختلفة التي تحصل في جميع أنحاء الدماغ، بحيث تصطف جميعا في نسق واحد وتكون على أهبة الاستعداد بطريقة تشبه حالة العدّائين في حلبة السباق لحظة إطلاق رصاصة البدء. فإذا كانت الشبكة DMN – فعلا – تقوم بتهيئة الدماغ لأداء فعاليّات واعية، فإن استقصاء سلوكها يمكن أن يمدنا بدلائل مهمة تساعدنا على فهم طبيعة خبراتنا على صعيد الوعي. وفضلا عن ذلك، لدى علماء الجهاز العصبي مبررات كافية للاشتباه بأن أعطال هذه الشبكة يمكن أن تكون مسؤولة عن الأخطاء الذهنية البسيطة وكذلك الاضطرابات الدماغية المركبة؛ من مرض ألزهايمر إلى الاكتئاب.

سبر أغوار الطاقة الخفية[*]

إن الفكرة القائلة إن الدماغ يمكن أن يكون ناشطا باستمرار ليست بالفكرة الجديدة. فقد كان ‹H. بيرگر› [مخترع طريقة تخطيط الدماغ الكهربائي (وهي الطريقة التي يتم فيها تسجيل نشاط الدماغ الكهربائي على هيئة مجموعة من الخطوط المتموجة والتي تظهر على شاشة جهاز التخطيط ويمكن طباعتها على الورق)] من الداعمين الأوائل لهذه الفكرة. وقد أشار ‹بيرگر› في مقالاته التأسيسية والتي نشرها عام 1929 وناقش فيها نتائج أبحاثه المتعلقة بتخطيط الدماغ الكهربائي، إلى أن الذبذبات الكهربائية الصادرة عن الدماغ لا تتوقف ويمكن تسجيلها دائما بواسطة جهاز التخطيط، وإلى أنه (أي ‹بيرگر›) استنتج بناء على ذلك «أنه علينا الانطلاق من فكرة أن الجهاز العصبي المركزي يبقى على درجة عالية من النشاط بصورة مستمرة، وليس أثناء اليقظة وحسب.»

إلاّ أن أفكار ‹بيرگر› حول كيفية أداء الدماغ لوظائفه تم تجاهلها على نطاق واسع، حتى بعدما أصبحت طرق التصوير **غير الباضعة** noninvasive تشكل عنصرا راسخا في مختبرات العلوم العصبية. وأقدم



هذه الطرق هو **التصوير الطبقي بإطلاق اليوزيترونات** (PET)[1] الذي أصبح قيد التداول في أواخر سبعينات القرن العشرين، والذي تتم فيه معايرة استقلاب الگلوكوز وجريان الدم وامتصاص الأكسجين كناية عن النشاط النوروني. وبعد عام 1992 ظهرت طريقة **التصوير بالمرنان المغنطيسي الوظيفي** (fMRI)[2] التي تقوم على مبدأ قياس درجة أكسجة الدماغ للغرض نفسه. وتمتلك هذه التقانات قدرة فائقة على قياس النشاط البؤري وغير البؤري في الدماغ، ولكن معظم الأبحاث التي استخدمت هذه التقانات حتى الآن تم تصميمها بطريقة ولّدت انطباعا – من دون قصد – بأن معظم مناطق

(*) Probing Dark Energy
(١) positron-emission tomography
(٢) functional magnetic resonance imaging



الأدمغة في حالة الراحة(*)



الدماغ تكون في حالة من الهجوع حتى يتم تحريضها من خلال قيام الشخص الخاضع للاختبار بتنفيذ المهام المطلوبة منه.

ويحاول علماء الجهاز العصبي - عادة - أثناء إجراء تجاربهم بطرائق التصوير المذكورة تحديد مناطق الدماغ المسؤولة عن تسيير عمليات إدراكية أو سلوكية معينة. وإن أفضل التصاميم البحثية لتعرُّف هذه المناطق هي تلك التي تقوم بمقارنة بسيطة بين حالتين من أنشطة الدماغ يربط بينهما قاسم مشترك. فعلى سبيل المثال، إذا أراد الباحثون تعرف مناطق الدماغ المسؤولة عن قراءة الكلمات بصوت مسموع (حالة الاختبار) مقارنة بتلك المسؤولة عن قراءة الكلمات ذاتها بصمت (حالة المراقبة)، فإنهم سوف يبحثون عن الفروق بين صور هاتين الحالتين. ولكي يتمكنوا من رؤية هذه الفروق بوضوح، فسوف يكون عليهم القيام بطرح وحدات **العنصورة**(1) pixel في صور القراءة الصامتة من وحدات العنصورة في صور القراءة المسموعة، ومن ثم القيام بتحديد المناطق التي تستمر بالتألق بسبب نشاط نوروناتها التي يفترض أن تكون هي المسؤولة عن القراءة بصوت مسموع. أما ما يسمى بالنشاط الداخلي المنشأ، وهو النشاط الدائم والذي يمثل خلفية جميع النشاطات الأخرى، فيتم حذفه في غرفة تقطيع الصور ومعالجتها. وعرض البيانات بهذه الطريقة يسمح برؤية مناطق الدماغ التي تنشط أثناء أداء نمط معين من أنماط السلوك، كما لو كانت هذه المناطق في حالة من الهجوع قبل أن يتم تفعيلها وقت الحاجة لأداء مهمة معينة.

ومع مرور الزمن، صار فريقنا البحثي - وغيره من الفرق - محبا لمعرفة ما يحدث عندما يكون المرء في حالة من الراحة التي لا يفعل فيها شيئا سوى أن يترك عقله يهيم. وقد نشأ هذا الاهتمام بتحريض من مجموعة أبحاث متنوعة أشارت إلى مدى اتساع هذا النشاط الذي يحدث خلف كواليس مسرح الدماغ.

لقد أتتنا إحدى الدلالات من أبحاث تناولت مسألة المعاينة البصرية المجردة للصور وأثبتت أن هذه المعاينة البصرية تترافق بزيادة جلية في نشاط مناطق كثيرة من الدماغ في حالة الاختبار وحالة المراقبة على حد سواء. وقد اتضح أن سبب استمرار ظهور هذا النشاط في كلتا الحالتين يعود إلى وجود خلفية مشتركة هي أشبه ما تكون بصخب أو وشيش يبقى في حالة نشاط دائم خلف الكواليس. ويُعتبر هذا الوشيش - جزئيا على الأقل - سببا في صعوبة - وإن لم يكن استحالة - التمييز بين الصور الخام للحالتين (حالة الاختبار أو حالة أداء المهمة، وحالة المراقبة). ولا يمكن تحقيق هذا الغرض إلا باستخدام طرائق حاسوبية

(*) BRAINS AT REST

(1) عنصورة (بيكسل): نحت من عنصر صورة. (التحرير)

معقدة لتحليل الصور.

لقد أشارت أبحاث أخرى إلى أن أداء مهمة معينة يزيد من استهلاك الدماغ للطاقة بنسبة لا تزيد على 5% من الطاقة التي يحتاج إليها النشاط القاعدي الأساسي، وإلى أن قسطا كبيرا من النشاط الكلي للدماغ يحدث في دارات عصبية لا علاقة لها بأحداث العالم الخارجي ويستهلك من 60% إلى 80% من الطاقة الإجمالية التي ينفقها الدماغ. لقد أطلق فريقنا البحثي على هذا النشاط الداخلي المنشأ مصطلح **الطاقة الخفية**(1) تيمُّنا بتعبير الطاقة غير المرئية والتي تمثل الجزء الأكبر من كتلة الكون الكلية، وتحية إجلال وتقدير إلى زملائنا الفلكيين.

ومما أسهم أيضا بدفعنا للاهتمام بمسألة وجود طاقة عصبية خفية هو أننا لاحظنا كم هو ضئيل حجم المعلومات الذي يصل فعليا من الحواس إلى مناطق الدماغ الداخلية المسؤولة عن معالجة هذه المعلومات. وخير مثال على ذلك هو التناقص الكبير في كمية المعلومات البصرية الذي يصيب هذه المعلومات خلال رحلتها من العين إلى قشرة الدماغ البصرية.

ولا يصل إلى الشبكية في مؤخرة العين من المعلومات المتوفرة في عالمنا الخارجي - وكميتها الافتراضية غير المحدودة - سوى ما يعادل 10 بلايين **بتة** bit في الثانية. وبما أن عدد وصلات العصب البصري بالشبكية لا يتجاوز مليون **وصلة مُصدِّرة** output connection، فإن كمية المعلومات التي تتمكن من مغادرة الشبكية متوجهة إلى الدماغ لا تتجاوز 6 ملايين بتة في الثانية ولا ينجح منها في الوصول إلى القشرة البصرية سوى 10 آلاف بتة في الثانية فقط.

وبعد خضوع هذه المعلومات البصرية إلى مزيد من عمليات المعالجة، يتم نقلها إلى مناطق الدماغ المسؤولة عن تشكيل إدراكنا البصري على صعيد الوعي. ومن المثير للدهشة أن كمية المعلومات التي تولّد إدراكنا الواعي لا تزيد على 100 بتة في الثانية. ومن المستبعد أن يكتفي الدماغ بمثل هذا السيل الضئيل من المعلومات وحده ليتمكن من صنع الإدراك، بل من الأرجح أن يأخذ أيضا عوامل أخرى في الحسبان، كالنشاط الداخلي المنشأ - مثلا - الذي يجب أن يكون له دور ما في هذه العملية.

إضافة على ذلك، فإن تقنية تعداد **المشابك العصبية**(2) (وهي نقاط الاتصال بين النورونات) تزودنا بدلالة أخرى على القدرة الداخلية العالية للدماغ في معالجة المعلومات. إذ إن عدد المشابك المخصصة للمعلومات البصرية الواردة من الخارج إلى القشرة البصرية، لا يتجاوز 10% من العدد الإجمالي لمشابك القشرة البصرية. أما النسبة العظمى من هذا العدد، فمخصصة للوصلات الداخلية التي تربط النورونات بعضها مع ببعض في هذه المنطقة من الدماغ.



النظرة الجديدة(*)

لقد أدرك الباحثون قبل وقت قصير أن المعلومات المتوفرة في عالمنا الخارجي - وكميتها الافتراضية غير المحدودة - لا يصل منها إلى مراكز الدماغ المسؤولة عن معالجة مثل هذه المعلومات سوى جزء يسير. وعلى الرغم من انتقال 6 ملايين وحدة بتة عبر العصب البصري، فإن ماينجح منها في بلوغ القشرة البصرية المعالجة للمعلومات لا يتجاوز 10 000 بتة. أما ما يتبقى للدماغ من هذه المعلومات، لاستخدامها في صناعة الإدراك الواعي، فلا يتجاوز بضع مئات من البتات، وهو قدر ضئيل جدا لا يكفي وحده لتوليد إدراك ذي معنى؛ الأمر الذي أشارت إليه النتائج البحثية ورأت أن الدماغ - على الأرجح - يتنبأ باستمرار بما يمكن أن يقع في المحيط الخارجي مستبقا المعلومات الهزيلة والتي سترد إليه عبر الحواس من العالم الخارجي.

اكتشاف العمل DM(**)

ومع أن الدلالات على وجود حياة داخلية للدماغ قد تم التحقق منها، فإن بعض جوانب النشاط الداخلي للدماغ كانت تتطلب فهما أعمق، كالجوانب الفيزيولوجية والجوانب المتعلقة بالكيفية التي يمكن أن يؤثر بها هذا النشاط في الإدراك والسلوك. وقد حالفنا الحظ في اغتنام إحدى الفرص عندما قمنا بمراقبة أمر مُحيّر أثناء إجراء دراساتنا بالتصوير PET التي تم تدعيمها فيما بعد بدراسات التصوير بالمرنان الوظيفي fMRI، حيث نقلتنا تلك الملاحظة إلى المسار الذي أدى بنا في نهاية الأمر إلى اكتشاف الشبكة DMN لعمل الدماغ.

لقد لاحظنا في أواسط تسعينات القرن الماضي بمحض الصدفة وبصورة تثير الدهشة، أن مناطق معينة من الدماغ ينخفض مستوى نشاطها عن **القيمة القاعدية في حالة الراحة** the baseline resting state كلما قام الأشخاص المفحوصون بأداء بعض المهام.

(*) A CLUE TO THE NEW VIEW

(**) Discovering the Default Mode، أو اكتشاف عمل الدماغ اللامُركز على مهمة واعية.

(1) dark energy

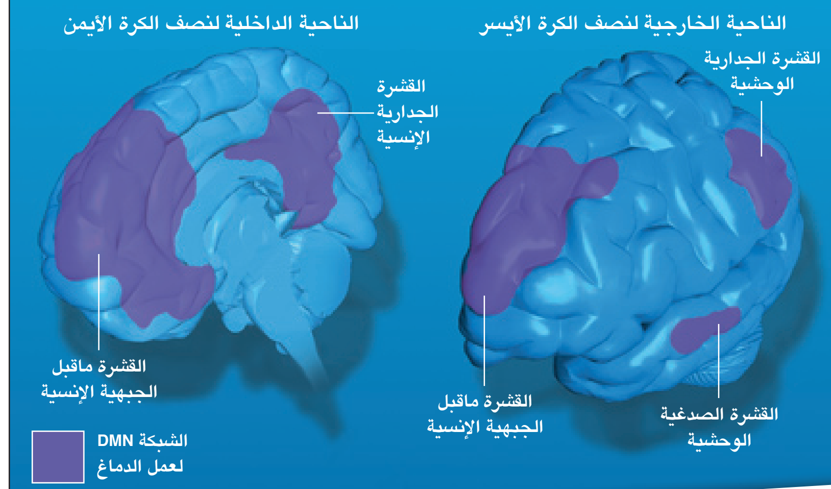
(2) synapses

الشبكة DMN(*)

مجموعة متآزرة من مناطق الدماغ المختلفة، معروفة باسم شبكة العمل DM (أو شبكة الوتيرة الطبيعية) لعمل الدماغ، يمكن أن تكون هي المسؤولة عن كثير من أنماط النشاط العصبي المرافقة لحالة عدم التركيز الذهني، وهي التي يمكن أن تؤدي دورا رئيسيا في أداء الوظائف الذهنية أيضا.

▼ مركز القيادة

تتألف الشبكة DMN من عدة مناطق دماغية متباعدة تتضمن الأجزاء المصورة أدناه:



▶ قائد أوركسترا الذات

يعتقد أن الشبكة DMN تحذو حذو قائد الأوركسترا بصورة ما، فهي تبث إشعارات توقيت مشابهة لحركات عصا قائد الأوركسترا، وذلك لتنسيق النشاط بين مناطق الدماغ المختلفة. إن هذا التأشير لأجزاء من القشرتين البصرية والسمعية، على سبيل المثال، يضمن - فيما يبدو - أن تكون جميع مناطق الدماغ على أهبة الاستعداد للاستجابة للمحرضات بصورة ملائمة.



وكانت هذه المناطق - وعلى نحو خاص قطاع من القشرة الدماغية الجدارية الإنسية (وهو جزء قريب من خط الدماغ المتوسط يشارك - إلى جانب وظائفه الأخرى - في عملية استدعاء الذكريات المتعلقة بأحداث الحياة الشخصية) ينخفض مستوى نشاطها في كل مرة تكون فيها مناطق الدماغ الأخرى منهمكة بتنفيذ إحدى المهام المحددة، كالقراءة المسموعة مثلا. وعلى الرغم من الحيرة التي أصابتنا، فقد قررنا إطلاق مصطلح «**المنطقة الجدارية الإنسية الغامضة**» (MMPA)[(1)] على القطاع الذي انخفض مستوى نشاطه الوظيفي إلى أقصى حد.

وقد أكدت سلسلة من تجارب التصوير PET التي أجريناها لاحقا أن الدماغ لا تطرأ عليه حالة من العطالة عندما لا يكون منشغلا بنشاط واع. إذ إن المنطقة MMPA وكذلك معظم المناطق الأخرى تظل ناشطة بصورة مستمرة إلى أن يركز الدماغ على إحدى المهام الجديدة، فتنخفض عندئذٍ وتيرة عمل بعض المناطق نتيجة لتراجع نشاطها داخلي المنشأ. لقد قوبلت أبحاثنا في بداية الأمر ببعض الشكوك، لا بل حتى أحيانا بالرفض. فقد رُفضت إحدى أوراقنا المُعدة للنشر والمتضمنة نتائج أبحاثنا المذكورة فيما سبق سنة 1998 لأن أحد المحكمين زعم أن انخفاض النشاط - الذي أشرنا إليه سابقا - هو نتيجة لخطأ في بياناتنا، علما بأن المُحكّم المُراجع أكد أن الدارات العصبية تم تشغيلها بالفعل عند الراحة وإيقافها أثناء أداء المهمة. وعلى أية حال، فقد قام باحثون آخرون بتأكيد نتائجنا المتعلقة بالقشرة الجدارية الإنسية والقشرة ماقبل الجبهية الإنسية (التي تشارك في عملية تخيل ما يفكر فيه الآخرون وكذلك في العملية المرتبطة ببعض جوانب حياتنا الانفعالية). وهناك إجماع حاليا على أن هاتين المنطقتين تشكلان ما يشبه محطات الوصل الرئيسية في الشبكة DMN.

لقد زودنا اكتشاف الشبكة DMN بطريقة جديدة للتفكر في النشاط الداخلي المنشأ للدماغ. فحتى تاريخ نشر أوراقنا البحثية التي أشرنا إليها سابقا، لم يكن علماء الفيزيولوجيا العصبية ينظرون إلى هذه المناطق - أبدا - كمنظومة قائمة بذاتها على غرار ما نفعله حيال المنظومة البصرية أو المنظومة الحركية؛ أي كمجموعة من المناطق المتباينة والتي يتواصل بعضها مع بعض لأداء عمل ما. لقد فاتت مرجعيات التصوير الشعاعي العصبي الرسمية فكرة أن الدماغ يمكن أن يُبدي نشاطا كالنشاط الداخلي المنشأ في العديد من مناطقه عندما يكون في حالة الراحة. والسؤال هنا: هل تقتصر هذه الخاصية على الشبكة DMN وحدها، أم إنها أكثر عمومية

(*) THE DEFAULT MODE NETWORK
(1) medial mystery parietal area

وتشمل جميع أنحاء الدماغ؟ لقد حصلنا على نتيجة بحثية مدهشة من خلال الطريقة التي ندرك ونحلل بها التصوير بالمرنان الوظيفي fMRI، وتصلُح هذه النتيجة لأن تكون مدخلا مناسبا للإجابة عن مثل تلك الأسئلة.

تشير **إشعارة** signal التصوير بالمرنان الوظيفي fMRI عادة إلى إشعارة ما تُسمى **المعتَمد على نسبة تركيز أكسجين الدم** (BOLD)[(1)]؛ نظرا لأن طريقة التصوير هذه تعمل على أساس تقلبات مستوى الأكسجين في الدماغ البشري التي تنشأ عن التبدلات في جريان الدم. تتغير الإشعارة BOLD في أي منطقة من الدماغ – عندما نرصدها لدى شخص في حالة استرخاء – ببطء وبصورة دورية كل 10 ثوان تقريبا. وكان يُنظر إلى هذه التقلبات الدورية البطيئة على أنها ليست سوى ضرب من الصخب، فيتم حذف المعلومات التي قام المرنان بتجميعها عنها من البيانات الإجمالية في سبيل الحصول على صور أكثر دقة لمناطق الدماغ الناشطة أثناء تنفيذ المهمة التي يتم استقصاؤها بالمرنان.

وفي عام 1995 بدأت الحكمة التي قام عليها مبدأ نبذ الإشارات المنخفضة التردد تتزعزع وتصبح موضع شك وتساؤل، وذلك بعد أن لاحظ <B. بيسوال> وزملاؤه [من كلية الطب في ويسكونسين] أن الصخب في منطقة الدماغ الناظمة لحركة اليد اليمنى للشخص المفحوص المسترخي بصورة كليّة يتقلب بتناغم تام مع الجانب المقابل الناظم لحركة اليد اليسرى. كما أن <M. گريسيوس> وزملاؤه [من جامعة ستانفورد] كشفوا – في مستهل القرن الحالي – عن التقلبات المتزامنة ذاتها في الشبكة DMN لدى مفحوص في حالة من الاسترخاء الكلّي.

وعلى خلفية الاهتمام المتسارع بالدور الذي تؤديه الشبكة DMN في وظيفة الدماغ، فقد أدت نتائج أبحاث فريق <گريسيوس> إلى فورة من النشاط في مختبرات البحث في جميع أنحاء العالم، بما فيها مختبرنا، حيث تم وضع خرائط لكافة أشكال الصخب، أي للنشاط

[خلل في ارتباطات الدارات العصبية]

المرض والشبكة[(*)]



هناك تقاطعات بين الشبكة DMN وبعض المناطق المستهدفة من قبل اضطرابات الدماغ الرئيسية، الأمر الذي يشير إلى أن حدوث خلل في هذه الشبكة يمكن أن يؤدي دورا في نشوء تلك الاضطرابات. إن الكشف عن جوانب الخلل في هذه الشبكة لدى مرضى ألزهايمر والاكتئاب وغيرهما من الاضطرابات يمكن أن يساعد على تطوير طرائق تشخيصية وأساليب علاجات جديدة.

مرض ألزهايمر

تتقاطع مناطق الدماغ التي يصيبها الضمور في مرض ألزهايمر بوضوح مع المراكز الرئيسية للشبكة DMN.

الاكتئاب

يظهر مرضى الاكتئاب تراجعا في عدد الوصلات التي تربط إحدى مناطق الشبكة DMN بمناطق مشاركة في نظم الانفعالات.

الفصام

تظهر مناطق كثيرة تابعة للشبكة DMN، مستويات مرتفعة من بث الإشعارات. إلا أن أهمية هذا الأمر لا تزال قيد الدرس.

الداخلي المنشأ لمنظومات الدماغ الرئيسية. وقد تم رصد هذه الأنماط المذهلة من النشاط حتى تحت التخدير العام وأثناء النوم الخفيف، مما يدل على أنها تمثل جانبا أساسيا من الجوانب الوظيفية للدماغ، وليس مجرد صخب وحسب.

لقد صار واضحا من هذا البحث أن الشبكة DMN مسؤولة عن جزء فقط، وإن يكن جزءا حيويا، من النشاط الداخلي المنشأ الإجمالي، كما صار واضحا أيضا أن فكرة العمل DM من عمل الدماغ تصلح لكافة منظوماته. لقد تم اكتشاف الوتيرة الطبيعية المُعَمّمَة في مختبرنا على أرضية أبحاثنا الأولى المتعلقة بنشاط الدماغ الكهربائي والذي يُدعى **الجهود القشرية البطيئة** (SCPs)[(2)]، والتي تطلق فيها مجموعات من النورونات زخات كهربائية كل 10 ثوانٍ أو

(*) DISEASE AND THE NETWORK
(1) the blood oxygen level-dependent
(2) slow cortical potentials

نحو ذلك. وقد قمنا في أبحاثنا بالكشف عن أن التقلبات التلقائية والتي نشاهدها في صور الإشعارة BOLD تتطابق مع الجهود SCPs، الأمر الذي يعني أننا استقصينا النشاط نفسه بطرائق استشعار مختلفة.

وقد انتقلنا بعد ذلك إلى دراسة الغرض من الجهود SCPs من المنظور الذي يرصد علاقتها بنماذج أخرى من الإشعارات الكهربائية العصبية. وكما بين «بيرگر» لأول مرة، وتم تأكيد نتائج أبحاثه منذ ذلك الحين على يد كثير من غيره من العلماء من خلال عدد لا يُحصى من الأبحاث، فإن الدماغ يبث طيفا واسعا من الذبذبات الكهربائية والتي يتراوح ترددها بين البطيء (الجهود SCPs) والعالي (نشاطات أخرى يتجاوز ترددها 100 دورة في الثانية). إلاّ أن آلية تآثر تلك الإشعارات بتردداتها المختلفة لم تُكتشف بعد، ومازال فهمها يشكل أحد أهم التحديات الكبرى والتي تواجه العلوم العصبية الحديثة.

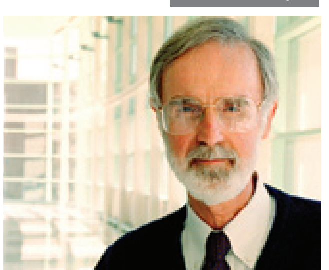
لقد تبيّن أخيرا أن الجهود SCPs لها دور مؤثر، إذ إن أبحاثنا - إلى جانب أبحاث أخرى - أكدت أن النشاط الكهربائي بترددات أعلى من ترددات الجهود SCPs يتزامن مع تذبذبات هذه الجهود أو أطوارها. وكما لاحظ مؤخرا «M. پالڤا» وزملاؤه [من جامعة هلسينكي]، فإن الطور الصاعد لهذا الجهد SCPs يترافق بزيادة في نشاط إشعارات أخرى ذات تردد مختلف.

ويمكننا أن ننهل من مفهوم الأوركسترا السيمفونية - الذي يُشير إلى نسيج مزخرف من النغمات الصادرة عن آلات موسيقية متنوعة تعزف بأسلوب متكامل وفق إيقاع واحد - استعارات ملائمة، حيث تمثل إشعارات الجهود SCPs عصا قائد الأوركسترا؛ ولكن بدلا من أن يكون همها الأساسي هو المحافظة على الإيقاع الزمني لعزف مجموعة من الآلات الموسيقية، فإنها تقوم بتنسيق العملية التي تحتاج إليها كل واحدة من منظومات الدماغ كي تتمكن من الدخول إلى المستودع الفسيح للذكريات وغيرها من المعلومات الأخرى اللازمة للبقاء على قيد الحياة في عالم مركب ومعقد ومتغير بصورة مستمرة. وبكلمة أخرى، فإن الجهود SCPs تضمن ظهور الحسابات السليمة بطريقة ملائمة وفي اللحظة المناسبة تماما.

ولكن الدماغ - كما هو معروف - أشدّ تعقيدا بكثير من الأوركسترا السيمفونية. فكل واحدة من منظومات الدماغ المتخصصة - كالمنظومة المُسيّرة للنشاط البصري أو المنظومة المُحركة للعضلات - تُبدي نمطها الخاص من الجهود SCPs. وبحكم التكوين المتباين لهذه المنظومات؛ فإن ذلك لا يترافق بظهور الفوضى. أما بث الإشعارات الكهربائية فيتم تنظيمه على نحو يعطي الأسبقية لبعض مناطق الدماغ على غيرها من المناطق، بحيث يكون هناك تسلسل هرمي تتصدره الشبكة DMN كقائد أعلى للأوركسترا لضمان عدم حصول تداخل فيما بين الإشعارات المتسابقة الصادرة عن هذه المنظومة أو تلك، ومن ثم ضمان عدم ظهور نشاز في الموسيقى. لا تدعو هذه البنية التنظيمية إلى الاستغراب أبدا، فالدماغ ليس مكانا للمشاجرة العامة بين منظومات مستقلة، بل هو اتحاد فدرالي لمكوِّنات يعتمد كلّ منها على الآخر.

ومن جانب آخر، فإن هذا النشاط الداخلي المعقد عليه أن يترك أحيانا الباب مفتوحا أمام متطلبات العالم الخارجي. وتلبية لضرورة هذا التكيف، فإنّ الجهود SCPs في الشبكة DMN ينخفض مستواها عندما يقتضي الأمر أن ترتفع درجة اليقظة بسبب ورود مدركات حواسيّة جديدة أو غير متوقعة، كأن تدرك فجأة - وأنت تقود السيارة راجعا من عملك إلى البيت - أنك قد وعدت بإحضار صندوق من الحليب. وما أن تنعدم الحاجة إلى **الانتباه البؤري** focused attention، فإنه سرعان ما ينتعش البث الداخلي لإشعارات الجهود SCPs مجددا. إن الدماغ في حالة صراع دائمة بين ضرورة الحفاظ على توازن استجاباته المرسومة ولزوم تلبية احتياجات اللحظة الفورية بصورة مباشرة.


المؤلف



Marcus E. Raichle

هو أستاذ في الطب الشعاعي وطب الجهاز العصبي في كلية الطب بجامعة واشنطن - سانت لويس. ترأس «ريتشيل» لسنوات عدة فريقا مختصا باستقصاء وظائف الدماغ البشري عن طريق التصوير PET والتصوير بالمرنان الوظيفي fMRI. وقد تم اختياره لمعهد الطب في عام 1992 وللأكاديمية القومية للعلوم عام 1996.

الوعي والمرض(*)

إن تعاقب ارتفاع وانخفاض مستوى نشاط الشبكة DMN يمكن أن يُغني بصيرتنا بتأمّل بعض ألغاز الدماغ الأكثر عمقا، ولقد زودنا العلماء - فعلا - بكثير من الأفكار العميقة المثيرة حول طبيعة الانتباه من حيث إنه يشكل عنصرا جوهريا من عناصر النشاط الذي يتم على صعيد الوعي. ففي عام 2008 أبلغ فريق بحثي متعدد الجنسيات أنه تمكّن أثناء مراقبته الشبكة DMN من التنبؤ بأن الشخص المفحوص بالمرنان الوظيفي على وشك ارتكاب خطأ - في اختبار حاسوبي مبرمج لهذا الغرض - قبل حدوث ذلك بزمن قد يصل إلى 30 ثانية. وأشار هذا الفريق أيضا إلى أن ذاك الخطأ يمكن أن يقع إذا ما بدأت - أثناء المجال الزمني المذكور (30 ثانية) - الشبكة DMN بالارتفاع وأخذت درجة نشاط المناطق المشاركة في نظم وظيفة التركيز البؤري بالانخفاض.

ويمكن لطاقة الدماغ الخفية أن تمدنا في السنوات القادمة بدلالات مهمة عن طبيعة الوعي. وكما يعترف معظم علماء الجهاز العصبي، فإن تفاعلنا الواعي مع العالم الخارجي لا يشكل سوى جزء يسير من نشاط الدماغ. وما يحدث تحت مستوى الإدراك الواعي، بما في ذلك ما تقوم به طاقة الدماغ الخفية، هو أمر بالغ الأهمية لمساعينا البحثية الرامية إلى اكتشاف الخلفية الغامضة لتجاربنا الحياتية التي نعيشها ضمن ذلك الحيز الزمني الضئيل من الإدراك الواعي.

وبمعزل عن اللمحة التي تقدمها لنا دراسة طاقة الدماغ الخفية بشأن ما يقع من أحداث خلف كواليس تجاربنا اليومية، فإن دراسة هذه الطاقة يمكن أن تزودنا بدلائل إرشادية جديدة لفهم الأمراض العصبية الرئيسية. ولن تكون هناك ضرورة إلى ممارسة الرياضة الذهنية أو القيام بحركات معقدة لإتمام التمرين. فالشخص المفحوص لن يكون عليه سوى أن يبقى مستلقيا بلا حراك داخل جهاز المرنان، مصغيا إلى أزيز الشبكة DMN وغيرها من محطات اتصال الطاقة الخفية وإلى وقع خطواتها الهادئة.

لقد أخذ هذا النوع من الأبحاث - بالفعل - يُسلّط ضوءا جديدا على مجال الأمراض، إذ إن دراسات الدماغ التصويرية كشفت عن وجود تبدلات في الوصلات مابين الخلايا الدماغية في مناطق الشبكة DMN عند مرضى ألزهايمر والاكتئاب والتوحد وحتى الفصام. وقد يتم تصنيف مرض ألزهايمر - يوما ما - بالفعل كمرض من أمراض الشبكة DMN. إذ إن مسقط المناطق المصابة في دماغ مريض ألزهايمر ينطبق بدقة عالية على خارطة المناطق المكونة للشبكة DMN. ويمكن لهذه النماذج أن تكون صالحة ليس كواسمات بيولوجية في مجال التشخيص وحسب، وإنما أيضا كأداة تساعد على التفكير العميق بأسباب هذا المرض وباستراتيجياته العلاجية.

على الباحثين - وهم يتطلعون في هذه الأيام إلى المستقبل - أن يحاولوا التوصل إلى معرفة آلية عمل تنسيق النشاط بين منظومات الدماغ المختلفة وداخل كل واحدة منها على المستوى الخلوي، كما أن عليهم التوصل إلى معرفة الآلية التي تستخدمها الشبكة DMN في دفع الإشعارات الكيميائية والكهربائية للانتقال عبر دارات الدماغ المختلفة. وسوف نكون عندئذٍ بحاجة إلى نظريات جديدة قادرة على دمج البيانات المتوفرة عن الخلايا والدارات والمنظومات العصبية بكاملها لإعطاء صورة أشمل عن الآلية الوظيفية والتي تستخدمها الشبكة DMN في أداء مهمتها كمدير عام مسؤول عن تنظيم طاقته الخفية. ويمكن أن يتبين لنا أخيرا بمرور الزمن، أن الطاقة العصبية الخفية هي الأساس الفعلي لما يحركنا. ■

(*) Consciousness and Disease

مراجع للاستزادة

Spontaneous Fluctuations in Brain Activity Observed with Functional Magnetic Resonance Imaging. Michael D. Fox and Marcus E. Raichle in *Nature Reviews Neuroscience,* Vol. 8, pages 700–711; September 2007.

Disease and the Brain's Dark Energy. Dongyang Zhang and Marcus E. Raichle in *Nature Reviews Neurology*, Vol. 6, pages 15–18; January 2010.

Two Views of Brain Function. Marcus E. Raichle in *Trends in Cognitive Science* (in press).

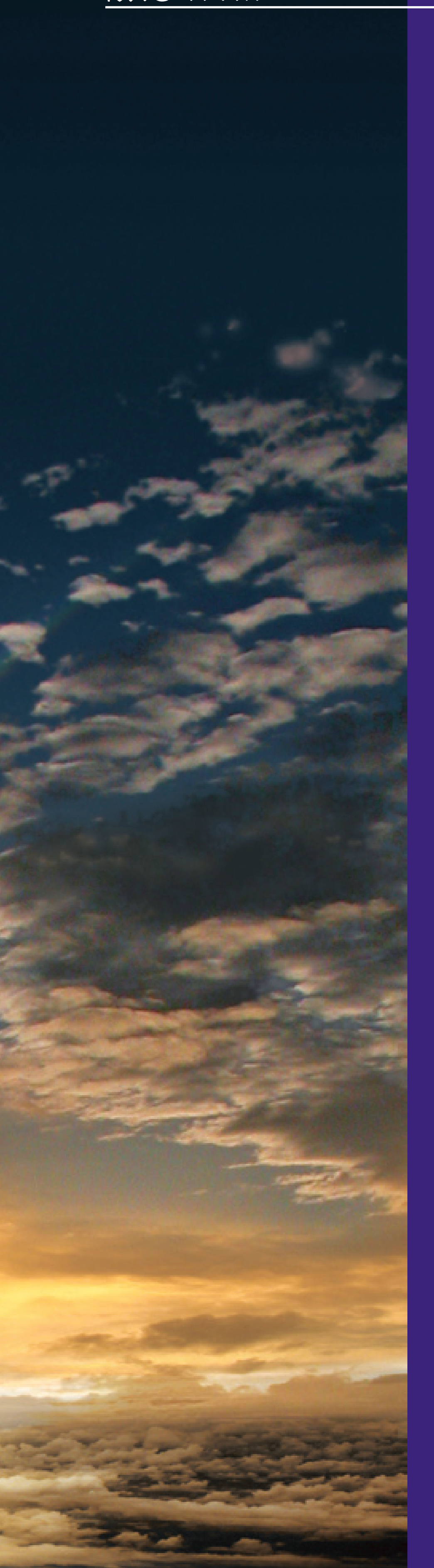
Scientific American, March 2010



الأعاجيب الثماني للمنظومة الشمسية(*)

في هذا المقال، يحلّق بنا الفنّان <R. ميلّر> في أجواء ثمانية من أكثر المشاهد حبسا للأنفاس التي تنتظر المستكشفين الشجعان لمنظومتنا الشمسية. وربما تكفي ضخامة هذه الأعاجيب الطبيعية لتقزيم جميع ما يمكن للأرض أن تبديه من ظواهر. فما الذي يمكننا أن نشاهده أو نستشعره لو كتب لنا السفر إلى تلك الأصقاع البعيدة؟ لقد تمكنت «عين الفنان» من إحكام الربط بين البيانات التي أرسلتها المسابر الفضائية، مثل <كاسيني>(١) الذي أطلقته الوكالة «ناسا» لاستكشاف نظام زحل، و<ميسينجير>(٢) الذي تمكن من الطواف حول «عطارد» ثلاث مرات، وهو يستعد لاتخاذ مدار دائم حوله في الشهر 2011/3، وهذا يتيح لنا فرصة القيام بزيارة مبكّرة لهذه الأصقاع النائية التي لا تُنسى.

<E. بِلْ>





1 حلقات زحل(**)

أنت تخترق الآن الطبقة السفلية(٣) لجو زحل، وتحلّق تحت أضخم بنية حلقية في المنظومة الشمسية. وليس ثمّة إلا القليل من المشاهد التي يمكنها أن تكون أكثر منه إثارة للدهشة والذهول. وهذه الحلقات البيضاء الجليدية، تحلّق على ارتفاع 75 ألف كيلومتر فوق رأسك. وتشعّ الحلقة ضوءها لتضيء به جميع ما ينتشر حولك. وسوف ترى ستة أقمار هلالية على الأقل وهي تشرق في السماء. وعند غياب الشمس، يتناثر ضوؤها ويتشتت عند اصطدامه بسديم من بلورات الأمونيا بشكل قوس قزح صغير. وسوف تحيط بك غيوم الأمونيا التي تتهادى قريبا منك بسرعة 1500 كيلومتر في الساعة. وهي تعد واحدة من أسرع السحب اندفاعا في المنظومة الشمسية برمتها. وعلى مسافة تحتك تُقدر بأكثر من 30 ألف كيلو متر، لا يمكن لأي شيء من صنع البشر أن يصمد في الضغوط التي تسودها، ينتشر محيط كوكبي من الهدروجين المعدني السائل. ولا شك في أن الهبوط فوق هذا الكوكب لن يتحقق أبدا.

(*) EIGHT WONDERS OF THE SOLAR SYSTEM
(**) THE RINGS OF SATURN
(١) Cassini
(٢) MESSENGER
(٣) the troposphere





2

البقعة الحمراء للمشتري(*)

ربما يكون من العسير على المسافر أن يتصور المقياس الدقيق لأضخم إعصار التفافي في المنظومة الشمسية. ومن هذه النقطة المتميّزة، لا يمكن مشاهدة أكثر من مجرّد قطاع صغير من البقعة الحمراء العظمى (*إلى اليسار في الصفحة المقابلة*). وهي ترتفع نحو ثمانية كيلومترات على الأقل فوق السحب المجاورة. ويمكن للصواعق المضيئة التي تنشأ أسفل الغيوم أن تسحق مدينة كاملة وتحوّلها إلى حطام. وتندفع الرياح التي تنشأ على تخوم الحافة الخارجية للإعصار الالتفافي بسرعة تزيد على 400 كيلومتر في الساعة. وتتم البقعة دورة كاملة بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة كل سبعة أيام. وتكون الاضطرابات الناتجة من هذه العاصفة الهوجاء هائلة، وتكفي الموجات الصوتية الصادرة عنها للإصابة بالطرش. ويمكن لكوكبين على أقل تقدير، يماثل حجم كل منهما حجم الأرض، أن يَغْرَقا تماما في لُجّة هذه العاصفة الهوجاء والتي ما فتئت تهبّ على النصف الجنوبي لكوكب المشتري قبل 400 سنة على الأقل.

(*) JUPITER'S RED SPOT

3

الوديان المريخية – المرّيخ[*]

طالما تملّكت الناس مشاعر الدهشة والذهول عندما يزورون «أخدود أريزونا الكبير»[١]، وهو إحدى الأعاجيب التي سيصادفها الزائر الأول لوادي المرّيخ[٢] عندما يمعن النظر في أخدوده. يبلغ عمق هذا الأخدود ستة كيلومترات ونصف، ويصل عرضه إلى قيمة مماثلة، وهذا يجعل من العسير عليك رؤية طرفه الآخر من بعض الأماكن. ويمكن لهذا الصدع التكتوني tectonic crack الهائل أن يمتد في الولايات المتحدة من نيويورك إلى كاليفورنيا، وهذه مسافة تعادل ربع محيط الأرض. ولهذا السبب يتأخر شروق الشمس في أحد طرفيه نحو ست ساعات عن شروقها في طرفه الآخر. وكان الماء ذات مرّة يجري عبر أجزاء كبيرة من هذا الأخدود. وفي هذا المشهد، يمكن للمسافر أن يرى غشاوة جليدية تملأ الوادي عند غياب الشمس فوق تخوم الحافة الشمالية.

(*) VALLES MARINERIS, MARS
(١) Arizona's Grand Canyon
(٢) the Mariner Valley







الينابيع الفوّارة لإنسيلادوس(*)

هذه واحدة من الظواهر التي يمكنك أن تستشعرها قبل أن تراها: إنها قعقعة خافتة تتردد عميقا في صدرك وتحدث تحت قدميك، من دون أن تكون مصحوبة بالصوت. ولا يلبث الثوران البركاني أن يظهر عندما تنفجر نافورتان جليديتان هائلتان عبر سطح إنسيلادوس وهما تقذفان ببلورات الجليد في الفضاء بسرعة تزيد على 1600 كيلومتر في الساعة. وشمسنا البعيدة هي التي تضيء هذا الاضطراب الصامت. وإنسيلادوس، الذي يعدّ سادس أضخم أقمار زحل، والذي لا تزيد قوة جاذبيته على 16/1 من قوة جاذبية قمرنا، لن يكون عالما يسهل المشي فوقه؛ وقد يحتاج المتنزّهون هناك إلى ربط الأحزمة المجهّزة بمحركات نفّاثة، وأن يحرصوا على تجنّب الاقتراب من الوديان التي تنشأ فيها النوافير العنيفة.

(*) THE GEYSERS OF ENCELADUS



5

ينابيع تريتون الفوّارة(*)

وسوف يندهش زوّار تريتون، وهو الأضخم في مجموعة أقمار الكوكب نبتون، عند رؤيتهم صفيفا من النوافير الشديدة البرودة والتي ربما تتكوّن من عنصر جليد النتروجين وبعض المركبات العضوية الداكنة. ويمكن سماع أصوات النوافير ذات المظهر الدخاني من مواقع تبعد عنها بضعة كيلومترات أثناء اندفاعها إلى ارتفاع يتجاوز 8000 متر ضمن الغلاف الجوي الرقيق لتريتون قبل أن تكسحها الرياح العاتية. ويغطي الميثان والنتروجين الجليدي هذا العالم الذي تنخفض فيه درجة الحرارة إلى ما دون 200 درجة مئوية تحت الصفر.

(*) THE GEYSERS OF TRITON

6

قمم الضوء السرمدي(*)

ثمة ظاهرة فريدة (*في الأسفل*). ليس بعيدًا عن أرضنا، وبالتحديد فوق قمرنا، ففي عام 1994 اكتشفت «قمم الضوء السرمدي» على «فوهة بيري»[1] المتاخمة للقطب الشمالي، وهي تمثل القطاع الوحيد والذي لا تغيب عنه الشمس في المنظومة الشمسية (يمكن أن تكون هناك قطاعات مماثلة فوق عطارد إلا أنها لم تشاهد حتى الآن). وتنشأ هذه الظاهرة غير العادية لأن محور دوران القمر حول نفسه لا ينحرف إلا قليلا عن المستوي المشترك لمداره ومدار الأرض حول الشمس. وهذا الموقع الذي سيتحول دون شك إلى عامل جذب للسائح الفضائي، سوف يستضيف أيضا أول قاعدة قمرية. واختلاف درجات الحرارة في هذه المنطقة طفيف، ربما لا يتعدى 20 درجة مئوية، وهذا يجعل منها مكانا مثاليا للإقامة. ويمثل احتمال وجود جليد الماء هناك ميزة إضافية.

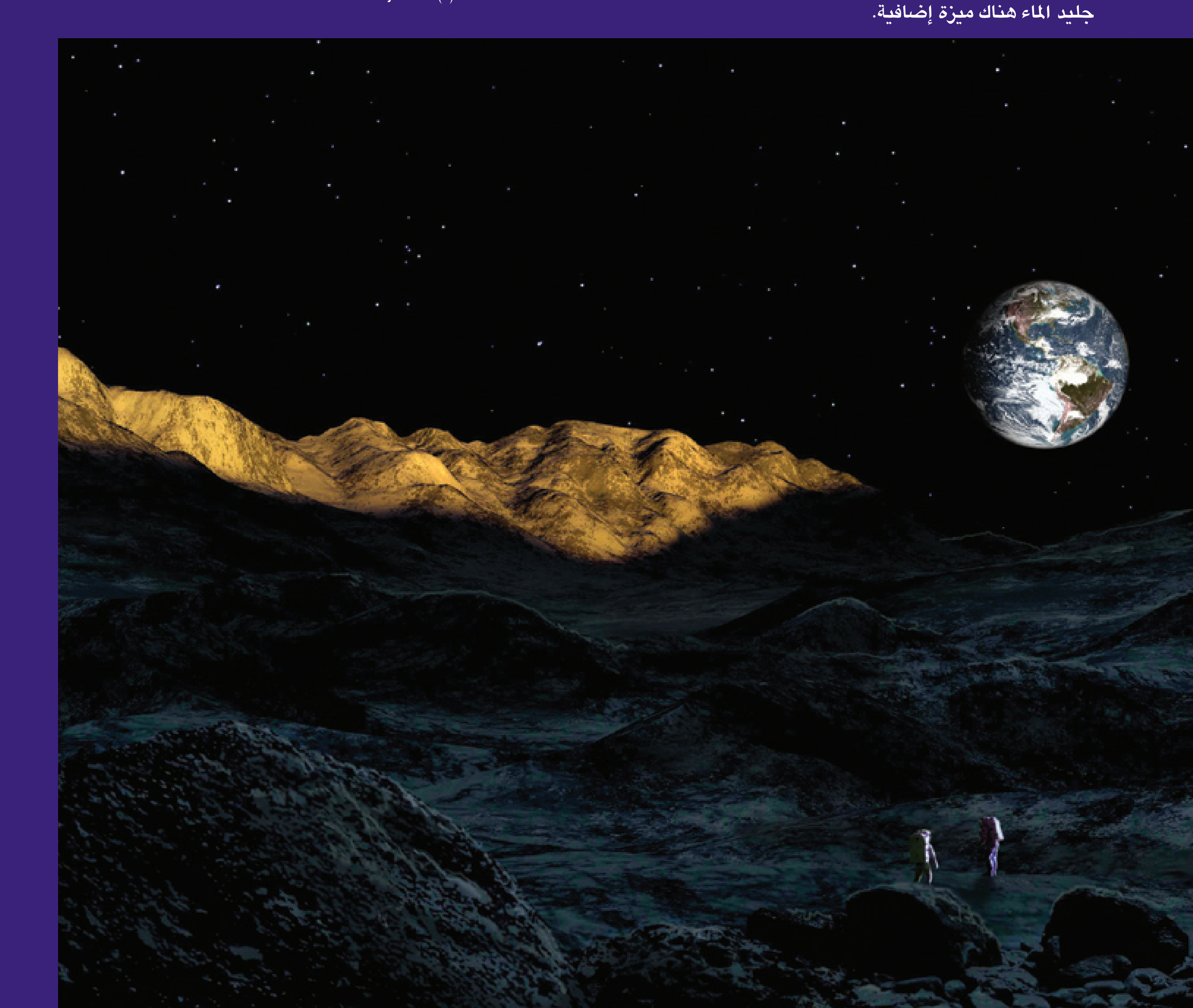
7

فوهة هرشل على ميماس(**)

لو أن متسلّقي الجبال المغامرين صعدوا إلى القمة في مركز فوهة هرشل الواقعة على سطح قمر زحل ميماس (*في اليمين*)، لوجدوا أنفسهم على ارتفاع 6000 متر فوق أرضية الحوض. وعند النظر إلى حافات الفوهة التي ترتفع إلى نحو 5000 متر، وبمشاهدة مغيب زحل في خلفية المشهد (*في اليسار*)، فسوف يستغرب المسافرون إلى هذا المكان كيف تمكّن ميماس من الصمود أمام هذا الاصطدام الذي أدى إلى تشكيل منخفض يبلغ عرضه 13 كيلومترا أو ما يقارب ثلث قطر القمر ذاته.

ميماس

(*) PEAKS OF ETERNAL LIGHT
(**) HERSCHEL CRATER ON MIMAS
(١) Peary crater



8

شروق الشمس على عطارد[*]

يعدّ شروق الشمس وغروبها على كوكب عطارد من المشاهد الجديرة بالمتابعة. والشمس التي ترى في السماء من عطارد أكبر بنحو مرة ونصف من حجمها عند النظر إليها من الأرض، تبدو وهي تشرق وتغرب مرتين خلال يوم عطارد. وهي تشرق ثم تسير في السماء، ثم تتوقف، وتعود إلى الوراء باتجاه الأفق الذي أشرقت منه، ثم تتوقف مرة أخرى، لتبدأ رحلتها من جديد نحو أفق المغيب. يحدث هذا المشهد الفضائي لأن عطارد يدور حول نفسه ثلاث دورات خلال كل دورتين له حول الشمس، وأيضا لأن مداره حول الشمس مفلطح جدا.



[مصمم الرسوم]

<R. ميلّر> مؤلف ومصمم رسوم أكثر من 40 كتابا بما فيها «الرحلة العظمى»[١] و«دورات النار»[٢] وكلاهما من تأليف عالم الكواكب والفنان <W. كارتمان>. وهو أيضا من الكتّاب السابقين لمجلة ساينتفيك أمريكان[٣]، وقد حاز على جائزة هوگو[٤] لكتاباته في أدب الخيال العلمي، وأيضا على جائزة رودو ميموريال[٥] من الرابطة الدولية للفنّانين الفلكيين.

[المؤلف]

Edward Bell

هو المدير الفنّي لمجلة ساينتفيك أمريكان.

(*) **SUNRISE ON MERCURY**
(١) ***The Grand Tour***
(٢) ***Cycles of Fire***
(٣) انظر: ***"Jules Verne, Misunderstood Visionary," Scientific American*, April 1997**
(٤) **Hugo Award**
(٥) **the Rudaux Memorial Award**

[مراجع للاستزادة]

Cassini Virtual Tour. The Cassini at Saturn Interactive Explorer (CASSIE) lets you fly around Saturn and its moons in 3-D. You can locate the satellite at any point in its mission. http://saturn.jpl.nasa.gov/video/cassinivirtualtour/

***Scientific American*, April 2010**

توسيع حدود الحياة(*)

تحليل نظام بيئي يمثل نمطا من الفتحات الساخنة المكتشفة حديثا في قاع البحر، يوفر احتمالات جديدة لكيفية تطور الحياة.

<A. برادلي>

هناك القليل من الأماكن مما تبقى للاستكشاف على قارات الأرض، ومن غير المتوقع وجود أعاجيب طبيعية في زوايا منسية من هذا العالم لم تكتشف بعد. وما نعلمه عن المريخ يفوق ما نعلمه عن 75 في المئة من سطح كوكبنا الواقع تحت سطح البحر. وهناك تنتظرنا مفاجآت لا تعد ولا تحصى.

وقعت إحدى تلك المفاجآت في الشهر 2000/12، عندما عملت بعثة استكشافية على سبر جبال قاع البحر المعروفة باسم **مسيف أطلنطس** Atlantis Massif[(1)] الواقعة في منتصف المسافة بين برمودا وجزر الكناري على عمق نصف ميل تحت سطح المحيط الأطلسي الشمالي. فقد وجدت هذه البعثة أعمدة من الحجارة البيضاء بلغ طولها ارتفاع بناء من عشرين طابقا انطلاقا من قاع المحيط. استخدم العلماء كلا من المركبة أرگو ArgoII التي يتم التحكم فيها من بعد والغواصة ألڤين *Alvin* التي يقودها طاقم خاص بها لدراسة هذه التشكيلات الغامضة وأخذ عينات مناسبة. ومع أن القيود الزمنية التي واجهتها البعثة والتي قصرت استخدام الغواصة لمرة واحدة فقط، تمكن الباحثون من جمع ما يكفي من معلومات لتبيان أن العمود الأبيض كان يمثل مجرد واحد من عدة أعمدة في المنطقة عملت على إطلاق ماء البحر المسخن. لقد اكتشفوا بالفعل حقلا مليئا بالينابيع الحارة تحت سطح البحر سُمّي **بالحقل المائي الحراري للمدينة المفقودة**[(2)]. وكان هذا اكتشافا فريدا من نوعه لا يماثله اكتشاف سابق في ذلك ما اشتهر لاحقا **بالمدخنات السوداء** black smokers.

لقد أثار التقرير الأول حول تفاصيل هذا الاكتشاف، والذي نشر في مجلة *Nature* في الشهر 2001/7، موجات من الحماس في الجماعة العلمية. كما أثارت مؤلفته الرئيسية الجيولوجية <D. كيلي> [من جامعة واشنطن] وزملاؤها تساؤلات أساسية: كيف تشكل الحقل المائي الحراري؟ وما نوع الكائنات الموجودة هناك وكيف باستطاعتها البقاء على قيد الحياة؟ وفي عام 2007، قادت <كيلي> بعثة استكشافية إلى المدينة المفقودة استمرت ستة أسابيع، وبعد سنين من التحاليل المضنية للعينات المأخوذة إبان هذه البعثة تمكن المختصون من تشكيل إجابات مثيرة عن التساؤلات المطروحة في هذا الشأن.

واكتشافات المدينة المفقودة أعادت النظر في المفاهيم القديمة حول الكيمياء التي مهدت لظهور الحياة على الأرض. وعملت نتائج البحث على توسيع طيف الأفكار التي تناولت أماكن وجود حياة خارج نطاق كوكبنا الأزرق، كما تحدّت بعض الأفكار الرائجة حول كيفية البحث عن تلك الحياة .

كيمياء غريبة(**)

لقد عُرفت الفتحات المائية الحرارية في قاع البحار منذ عقد السبعينات، وتعد

مفاهيم مفتاحية

- في عام 2000 اكتشف الباحثون نمطا جديدا من أنظمة الفتحات المائية الحرارية في قاع البحر، سمّيت بالمدينة المفقودة.
- وقد تبين في السنوات الأخيرة الماضية عبر تحليل عينات مأخوذة من هذا الموقع التكوين الفريد الكيميائي للموقع وطبيعة الكائنات الحية الدقيقة المستفيدة منها.
- كما بينت نتائج تلك الأبحاث إمكانية نشوء حياة في محيط شبيه بالمدينة المفقودة.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) EXPANDING THE LIMITS OF LIFE
(**) Strange Chemistry
(1) أو صخر أطلنطس.
(2) the Lost City Hydrothermal Field

الأنظمة المسماة بالمدخنات السوداء أكثرها إلفا. وتقع هذه الفتحات على **حيود وسط المحيط**[1] – سلسلة البراكين التي تتداخل مع المواقع التي تتباعد فيها الصفائح التكتونية عن بعضها بعضا. وقد تبلغ درجة حرارة ماء هذه الفتحات أربعمئة درجة مئوية نتيجة قربها من الصخور المنصهرة. ففي وسط تبلغ حموضته حموضة عصير الليمون، يتسرب إلى الماء الحارق السلفيد والحديد والنحاس والزنك أثناء ترشح هذا الماء عبر الصخور البركانية أسفل قاع البحر. ويعود هذا السائل الحمضي الحار إلى قاع البحر، فيلتقي من خلال الفتحات بماء البحر البارد. تبرد **الكبريتات الفلزية**[2] المنحلة الكبيرة وتترسب مشكلة سحبا خليطة تبدو كدخان متلاطم أسود. وتتجمع الكبريتات الفلزية أعلى الفتحات فيما يشبه المداخن، ويزداد ارتفاعها باطراد. وعلى الرغم من كيميائيتها المعادية، فإن هذه المناطق المحيطة بالفتحات تعج بحيوانات غريبة مثل الديدان الأنبوبية الضخمة الحمراء الرأس التي تفتقر إلى كل من الفم والجوف المعوي وتحيا من خلال رابطة تعايشها مع بكتيريا توجد في داخلها، تستهلك غاز كبريت الهدروجين السام الصادر عن هذه الفتحات.

تبدو المدينة المفقودة هادئة مقارنة بالبيئة المتوحشة للمدخنات السوداء، وهي على بعد 15 كيلومترا غرب حدود الصفائح التكتونية في حيد وسط الأطلسي. ويبعد حقل هذه الفتحات فوق سطح مسيف الأطلسي[3] بعدا يحول دون تسخين الحمم للسوائل إلى درجة الحرارة الحارقة التي في المدخنات السوداء، وعوضا عن ذلك يُسخن الماء بمجرد دورانه عبر الصخور الدافئة السفلية، ولا تزيد درجة حرارة الماء المقاسة على التسعين درجة مئوية. كذلك تتميز سوائل المدينة المفقودة بكونها قلوية لا حمضية، وتبدو هذه السوائل، وهي في الحموضة ما بين 9 و 11 درجة مئوية، كحليب المغنيزيا أو محلول الأمونيا المنزلي. وبسبب عجز مثل هذه السوائل عن حل



قد يبدو النظام البيئي الممثل في الفتحات المائية في المدينة المفقودة قاحلا، إلا أنه يحوي طيفا واسعا من الميكروبات التي لا يعتمد كثير منها على طاقة أشعة الشمس.

تراكيز مرتفعة من الفلزات كالحديد والزنك، فلا تستطيع المدينة المفقودة بناء الأعمدة الطويلة المكونة من الكبريتات الفلزية والتي تميز المدخنات السوداء. فيما تزخر مياه فتحة المدينة المفقودة بالكالسيوم الذي تنجم عنه كربونات الكالسيوم (حجر الجير) لدى اختلاطه بمياه المحيط. ويشكل حجر الجير مداخن بيضاء عملاقة تصل أطولها إلى 60 مترا فوق مستوى قاع المحيط، وهو أطول بذلك من أيٍ من المدخنات السوداء.

تنشأ كيمياء المدينة المفقودة الغريبة نتيجة للتكوين الجيولوجي الفريد المرتبط ببنية الكوكب ذاته. ويمكننا تصور الأرض كثمرة الدراق حيث قشرتها تمثل قشرة الأرض ويمثل لحم الثمرة المكافئ طبقة الغلاف. فيما يمثل لب الثمرة نواة الأرض الحديدية. وتبتعد كل من الصفيحتين الأمريكية الشمالية والإفريقية في المرتفع بينهما ببطء بسرعة تبلغ 25 مليمترا سنويا. وبرز بفعل

(١) mid-ocean ridges، حيود = ج: حَيْد ridge.
(٢) metal sulfides
(٣) Atlantis Massif

حركة الصفائح تلك جزء من غلاف الأرض في قاع المحيط فتشكل المسيف الأطلسي من خلال دفع غلاف الأرض هذا نحو الأعلى.

يتكون **غلاف الأرض** mantle رئيسيا من صخور تدعى **بريدوتيت** peridotite[(1)]؛ وقد تبين أن هذه الصخور هي بمنزلة المفتاح للكيمياء المتميزة في المدينة المفقودة. وعندما يحتك البريدوتيت بالماء يحدث تفاعل كيميائي يدعى **السربنتينية** serpentinization. ويتم ذلك بمجرد تسرب ماء المحيط إلى **المسيف** massif[(2)] حيث يصير الماء المرشح من خلال هذا التفاعل أكثر قلوية، ويكون عند عودته واختلاطه بمياه المحيط، غنيا بالكالسيوم المحرر إبان العملية السربنتينية. وبالأخص يكون السائل **مخفض التأكسد** reduced[(3)]؛ إلى حد كبير. أي إنه يخسر جميع الأكسجين فيه واستبدلت به غازات ذات طاقات عالية جدا كالهدروجين والميثان والكبريت: إن تركيز الهدروجين في هذا السائل هو الأعلى المقاس في بيئات طبيعية حتى الآن. وهكذا يصبح الموضوع أكثر إثارة للاهتمام.

في البداية[(**)]

إن الهدروجين غني بالطاقة نتيجة لقدرته على نقل الإلكترونات إلى مواد أخرى كالأكسجين وتحرير طاقة في خضم هذه العملية. وتوصف المواد التي تميل إلى إعطاء فوري لإلكترونات بأنها مواد مختزلة (مُرجعة) كيميائيا وهي تسمية محيرة. وقد خمن العلماء منذ زمن بعيدٍ بدور مهم للغازات المختزلة (المخفضة) التأكسد في نشوء الحياة على الأرض، واقترح كل من الكيميائي الحيوي الروسي <A. أوپارين> وعالم الأحياء التطوري البريطاني <S.B.J. هالدين> عام 1920 إمكانية وجود غزير للغازات المختزلة كالميثان والنشادر والهدروجين في جو الأرض المبكر. وافترضا أن التركيز المرتفع للغازات المختزلة سيعمل على تشكل مكونات الحياة الكيميائية بطريقة عفوية.

لقد نجم عن التجربة الشهيرة لـ <S. ميلر> و<H. يوري> [من جامعة شيكاغو] والتي أجريت عام 1953، اقتناع العديد من العلماء بهذه الفرضية. إذ تمكنا عبر تسخين غازات مختزلة (مرجعة) وتعريضها **لشرارات** sparks كهربائية من إنتاج طيف من المركبات العضوية (معظمها يحوي الكربون والهدروجين) اشتملت على الأحماض الأمينية؛ وهي الوحدات الأساسية المؤلفة للپروتينات المستخدمة لدى جميع الأحياء على الأرض.

إلا أنه بعد مضي سنوات من تجربة <ميلر - يوري> تبين للجيولوجيين أن الجو الذي ساد على الأرض لم يكن مختزلا بالقدر الذي توقعه الباحثان. ويعتقد العلماء الآن أن شروط التجربة التي سمحت بتكوين الأحماض الأمينية والمركبات العضوية الأخرى ربما لم تتحقق قَطُّ في جو الأرض.

في المقابل نجد أن مثل هذه الغازات

[اكتشافات]

مهد الحياة؟[(*)]

تقبع فتحات المدينة المفقودة على قمة تحت سطح الماء تعرف باسم «مسيف أطلنطس» على بعد 15 كيلومترا غرب حدود الصفيحة التكتونية في الارتفاعات وسط الأطلسي. والدراسات التي أجريت حول هذه الفتحات بينت كيفية تشكل المداخن، وأشارت إلى أن الكيمياء السائدة فيها هي من النوع الذي ولد الحياة المبكرة في الأرض.

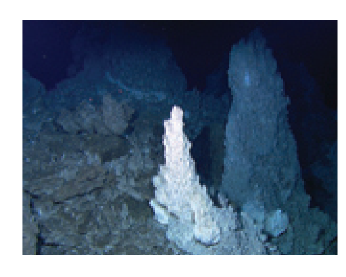
يتكون «المسيف» من صخر معظمه مركب من البريدوتيت. يتفاعل ماء البحر مع هذا الصخر إبان ترشحه عبر انشقاقات «المسيف» فيتحول إلى السربنتينيت. وتقود عملية التحول السربنتيني عدة عمليات ذات أهمية في تحديد كيمياء المدينة المفقودة. فهي تعطي الماء الدافئ المترشح درجة حموضة قلوية وتمده بالكالسيوم. وعندما يظهر الماء في الفتحات ويختلط مع ماء البحر تتشكل كربونات الكالسيوم وتترسب فوق الفتحات مكونة مداخن بيضاء. كذلك يشحن التفاعل سائل الفتحات بغازات غنية بالطاقة كالهدروجين، مما يسمح لأحياء دقيقة مثل الميثانوجينات بالنمو حول وفي داخل جدار المدخنة، وذلك بمعزل عن طاقة الشمس. وأخيرا يوفر التحول السربنتيني شروطا كيميائية تسمح بتركيب مواد عضوية من مواد لاعضوية وهي أحد المتطلبات الرئيسية لتطور الحياة.



المدينة المفقودة ...[(***)]

كل من المدينة المفقودة والمداخن السوداء عبارة عن ينابيع حارة. وفيما عدا ذلك فهما مختلفان جدا. وترد في الأسفل بعض الصفات التي تميز المدينة المفقودة.

- تتوضع 15 كيلومترا غرب البراكين في ارتفاعات وسط الأطلسي
- تبلغ درجة حرارة الماء 90 درجة مئوية
- درجة الحموضة شديدة القلوية
- تشكل كربونات الكالسيوم المداخن البيضاء
- بعض أشكال الحياة تعمل مستقلة عن طاقة الشمس



(*) CRADLE OF LIFE?
(**) In the Beginning
(***) LOST CITY ...
(1) صخر ناري زبرجدي خشن الحُبيبات.
(2) كتلة صخرية.
(3) أو مختزل أو مُرجع.

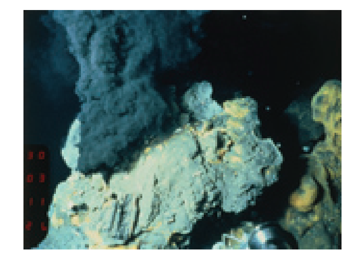
مقطع من «مسيف أطلنطس» في موقع فتحات المدينة المفقودة

ماء معدن
مدخنة
سيل ماء
صدع
سربنتينيت
پريدوتيت
المدينة المفقودة
العمق بالأمتار
-0
-5.300
مسيف أطلنطس

... في مقابل المدخنات السوداء(*)

إن قرب المدخنات السوداء من المگما magma المتصاعدة يسهم بشكل ملحوظ في السمات المميزة لهذه الفتحات والتي تختلف بها عن المدينة المفقودة.

- موضعها في وسط ارتفاعات الأطلسي حيث البراكين
- تبلغ درجة حرارة الماء 400 درجة مئوية
- درجة الحموضة شديدة
- تعطي فلزات الكبريت دخانا أسود وتشكل المدخنات
- ترتبط أشكال الحياة بطريقة غير مباشرة بطاقة الشمس



المختزلة شائعة في بيئة الفتحات الحرارية المائية للمدينة المفقودة. فهل يحتمل أن تكون مثل هذه الفتحات قد وفرت المواد اللازمة للحياة منذ بلايين السنين؟ يميل بعض الجيوكيميائيين الذين يتحرون هذا الاحتمال إلى الاعتقاد بصحة ذلك. وقد بينت دراسات عدة حول التفاعلات التي تتم في إطار التحول السربنتيني قدرة هذا التحول على إنتاج مركبات عضوية انطلاقا من غاز ثاني أكسيد الكربون. ويحتمل أن تكون منظومات حرارية مائية كالتي رصدت في المدينة المفقودة قد عملت كمصانع بدائية فأنتجت الميثان المزبد ومركبات عضوية بسيطة أو حتى أحماض دسمة معقدة، وهي مكونات ضرورية لأغشية جميع الأحياء الخلوية. وقد يكون باستطاعة تلك الفتحات توليد هذه المركبات العضوية من دون مساندة من الكائنات الحية.

تمثل المدينة المفقودة مختبرا طبيعيا لاختبار تلك الفرضيات. وقد نشر الكيميائي <G. پروسكوروسكي> [من معهد دراسة المحيطات وودز هول] وزملاؤه عام 2008 دراسة في مجلة *Science* أظهرت أن السوائل المائية الحرارية في المدينة المفقودة تحوي بالفعل مركبات عضوية بسيطة مثل الميثان والإيثان والبروپان. وتبيَّن من خلال دراسات أخرى أن التفاعلات في المدينة المفقودة تنتج مواد عضوية حمضية بسيطة مثل الفورمات والأسيتات (الخلات). وتؤكد هذه المكتشفات أن الوسط المختزل (المرجع) في المدينة المفقودة قد يدعم نمط التفاعلات الكيميائية الضروري لتكوين مركبات عضوية من مركبات لاعضوية – وهي خطوة بسيطة، إلا أنها حرجة في الكيمياء السابقة لنشوء الحياة.

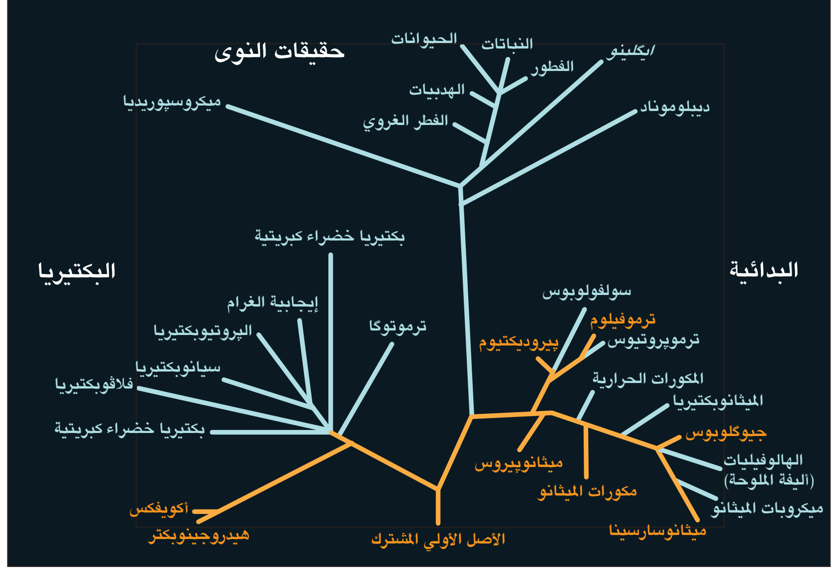
ويؤسس هذا العمل الجديد لإمكانية إنتاج مركبات عضوية بسيطة؛ على الأقل كمكونات محتملة للحياة؛ وذلك في بيئة الفتحات المائية الحرارية. إلا أن المدينة المفقودة لا تمثل الترتيب المثالي لاختبار هكذا فرضيات، ذلك لأن الأبراج الكربونية ليست مفاعلات كيميائية عقيمة، بل هي في الواقع تعج بكائنات ميكروية حية؛ مما يولد احتمالية

(*) ... VS. BLACK SMOKERS

[إثبات الدعم]

البعض يفضل الحرارة المرتفعة(*)

يدعم تحليل المكونات الجينية لكائنات متباعدة فرضية نشوء الحياة في نظام بيئي مكون من الينابيع الحارة. ويحتمل أن يكون هذا النظام شبيها بالمدينة المفقودة. وقد تم بناء شجرة عائلة اعتماداً على تسلسل أسس الرنا توضح علاقة القرابة بين جميع أشكال الحياة على الأرض. وكما هي حال الميثانوجينات في المدينة المفقودة والتي تنتمي إلى عائلة Methanosarcinales تعيش الكثير من الأحياء القريبة من جذر الشجرة في ينابيع حارة إما على اليابسة أو في قاع البحر، وبمقدورها العيش من الهدروجين (*وهي المجموعات الموضحة باللون الأصفر*). ويفيد الطراز المتشكل بأن السلف لجميع أشكال الحياة في الأرض سكن في بيئة كهذه.



تشـــكل المركبات العضوية في الفتحات عبر مســاهمة الميكروبات. وهكذا تطلّب حل هذه الإشكالية دراسة الميكروبات ذاتها.

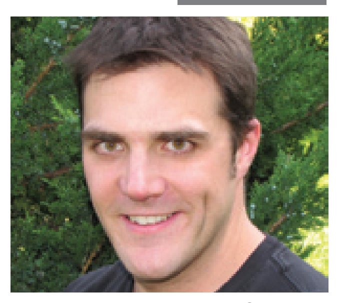
لا حاجة إلى شمس(**)

طــوّرت العديد مــن الأحيــاء الميكروية القــدرة علــى اســتهلاك الطاقــة الوفيرة مــن الهدروجــين، وتمثــل **الميثانوجينات** Methanogens نموذجــا من تلــك المجموعة. وكما يشــير الاســم فإن الميثانوجينات تولد الميثان، وهو الغاز الطبيعي والذي يستخدمه الكثيــرون منا في التدفئة وفي طهي الطعام. وقد تبــين أن ثلــث الميكروبات فــي المدينة المفقودة هي ميثانوجينات تنتمي إلى العائلة **ميثانوسارســينالس** Methanosarcinales. ولا يستغرب وجودها نظرا لشيوع الهدروجين في سوائل الفتحات. والجدير بالذكر هنا هو أن هــذه الميثانوجينات فــي المدينة المفقودة تعمل بشكل مستقل عن الشمس.

ترتبط جميع أشــكال الحيــاة الأرضية تقريبا بالطاقة الشمســية، سواء كانت هذه الأشـــكال بشــرية تعتمد على كائنات تقوم بالتركيــب الضوئي لإنتاج الغــذاء، أو هي نباتات وطحالب تعتمد على التركيب الضوئي. وحتى فــي المدخنات الســوداء فــي أحلك أعمــاق المحيطات ترتبط الحياة بالشـــمس. فالميكروبات التي تدعم نمو الديدان الأنبوبية الضخمة، على ســبيل المثال، تحتاج إلى كل من الكبريت والأكســجين. والمصدر النهائي للأكســجين هي الكائنــات ذات المقدرة على التركيب الضوئي في المناطق الأعلى البعيدة. أما الميثانوجينات فجميع ما تحتاجه من أجل بقياها في المدينة المفقودة هو ثاني أكســيد الكربــون وماء ســائل والپريدوتيــت، التي تتفاعل لتشكل المكونات الفحة الضرورية.

لقــد تبــين للباحثــين أن جميــع التفاعلات الكيميائية الجيولوجية الناجمة عن السرپنتينية ونشــاط الميثانوجينات الحيوي تســهم في توليــد الميثان لــدى بيئة المدينة المفقودة. وربّما لا يكون هذا التوليد المتزامن للميثان مجرد صدفة. ففي إطار مجموعة من الدراسات تمت في السنوات القليلة الماضية، أجرى كل من الباحثــين الكيميائي الحيوي <W. مارتــين> [من جامعة هاينريــخ هــاين] والجيوكيميائي <M. رَسِل> [من مختبر الدفع النفاث التابع لناسا في پاسادينا] اختبارات للمراحل الكيميائية الدقيقــة والتي يتطلبها إنتاج الميثان اللاحيوي. أي الذي يتم بمعزل عن نشاط المتعضيات في بيئة المدينة المفقودة. وتبين أن كل مرحلة لاحيوية لصنع الميثان تم استنساخها في المسار الحيوي للمتعضيات التــي تولد الميثان. اقتــرح كل من <مارتين> و<رَسِل> من خلال هذا العمل أن مواقع مثل المدينة المفقــودة، أنتجت في مراحل الأرض المبكــرة الميثان **كيميائيا جيولوجيا**[1] وأن الأشــكال الحية الأولية تبنت لنفســها هذه المراحل الكيميائية مما أدى إلى نشــوء أول

المؤلف


Alexander S. Bradley

حصل على الدكتوراه في الكيمياء الجيولوجية في المعهد MIT عام 2008، وتناولت أطروحته بشكل رئيسي موضوع اختبار المركبات العضوية في الأنظمة المائية الحرارية في المدينة المفقودة وفي المحمية الطبيعية Yellowstone. يعمل برادلي حاليا في جامعة هارڤرد كزميل لمعهد Agouron حيث يجري أبحاثا تصل حقلي البيولوجيا الميكروية والكيمياء الجيولوجية، كما يعمل من أجل تطوير تقنيات تسهم في فهمنا لتاريخ الأرض والبيئة.

(*) SOME LIKE IT HOT
(**) No Sun Needed
(1) geochemically

مسار كيميائي حيوي استقلابي.

لم يكن كل من <مارتين> و<رَسِل> أول العلماء الذين اقترحوا إمكانية نشوء الحياة في الفتحات المائية الحرارية. بل وجدت هذه الفكرة منذ سنوات عدة، ولا تدعمها الكيمياء المناسبة في الأنظمة المائية الحرارية وإنما يدعمها السجل التطوري الموجود في **جينات (مورثات)** genes جميع المتعضيات الحية.

وقد وفرت دراسة **الريبوزومات** ribosomes - وهي الآلات الحيوية المستخدمة من قبل الخلايا لترجمة المعلومات **المكودة** encoded في الأحماض النووية **الرنا** RNA **والدنا** DNA - إضاءات فيما يخص عملية نشوء الحياة هذه. تتكون الريبوزومات ذاتها من الرنا والبروتين. ومن خلال مقارنة تسلسل مكونات الرنا من النكليوتيدات تمكن العلماء من بناء شجرة عائلة تظهر أوجه القرابة بين جميع المتعضيات. وتستهلك العديد من المتعضيات الواقعة في الأغصان القريبة من جذر الشجرة consume hydrogen، وتعيش في الينابيع الحارة في اليابسة أو في قاع البحر، مما يدل على أن السلف المشترك الأقدم لجميع الكائنات الحية على الأرض ينتمي إلى تلك البيئة أيضا. ويحتمل أن يكون من بيئة مشابهة لتلك في الحقل المائي الحراري لدى المدينة المفقودة.

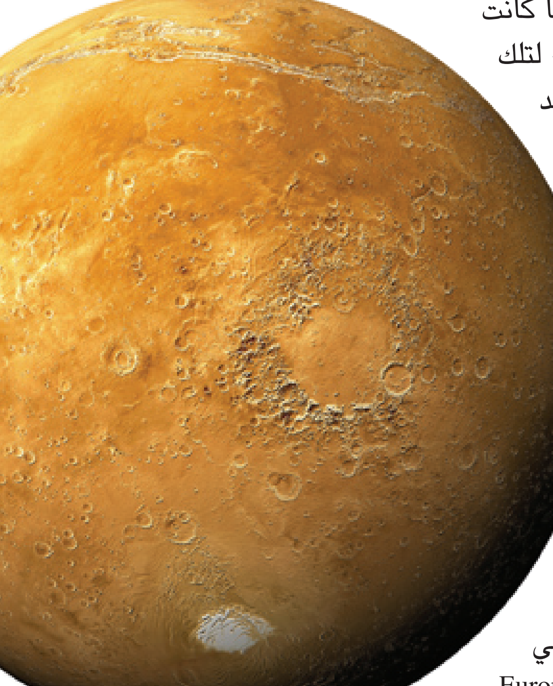
لدى الجيولوجيين من الأسباب ما يبرر لهم ترجيح شيوع أنماط بيئات كتلك التي في المدينة المفقودة. ويعد البريدوتيت من أكثر الصخور شيوعا في المنظومة الشمسية. وهو يمثل الجزء الأعظم في القشرة الأرضية العلوية. وعلى الرغم من ندرة تشكل بريدوتيت جديد في سطح الأرض الحالي إلا أن ذلك كان شائعا قبل أربعة بلايين سنة. ففي تلك الحقبة كانت الأرض أسخن كثيرا مما هي عليه الآن، وعملت فعاليات البراكين المتزايدة على نقل المزيد من غلاف الأرض المنصهر إلى السطح. وفي الواقع شكل بريدوتيت معظم صخور قاع بحر الأرض الفتية. وهذا الصخر تفاعل مع الماء كما يحدث الآن. ومن المحتمل أن يكون الترتيب الدافئ القلوي للسوائل، الشبيه بما هو متوفر في المدينة المفقودة، قد رعى عملية إطلاق الأشكال الأولى للحياة. فيما كانت الظروف الحارقة والحمضية المشابهة لتلك في المدخنات السوداء معادية إلى حد كبير لنشوء حياة.

وقد نجم عن هذه المكتشفات فرضيات حول احتمالات نشوء الحياة الحالي أو الماضي من أماكن أخرى في النظام الشمسي - فأي كوكب يحوي كلا من البريدوتيت والماء السائل، وهي المكونات اللازمة لعملية السربنتينية - يمكن أن يدعم أشكالا من الحياة شبيهة بميكروبات المدينة المفقودة. وتشير أقوى الدلائل إلى وجود هذه المكونات في المريخ وقمر المشتري المسمى **أوروبا** Europa. وبالفعل كشف الباحثون عن وجود الميثان في جو المريخ، إلا أنه لم يتضح بعد فيما إذا كان منشأ هذا الميثان تفاعلات كيميائية في صخور الكوكب أو نشاطا ميكروبيا أو كليهما.

البحث عن الميثان(*)

إن تحديد وجود الميثان قد يكون أصعب مما توقعه العلماء. فمعظم المتعضيات على شجرة الحياة هي ميكروبات. وعلى الرغم من إمكانية دراسة سلاسل الدنا والرنا لهذه الكائنات إلاّ أن من الصعوبة بمكان العثور على سجل أحفوري لمتعضيات ذات أشكال غامضة. ولهذا الغرض طور الباحثون في العقود القليلة الماضية تقنيات تتيح التحري عن التاريخ التطوري للميكروبات الدقيقة وذلك من خلال السجل الجيولوجي الكيميائي عوضا عن الأحفوري الفيزيائي (البنيوي). فالأحافير الكيميائية هي جزيئات يمكن تتبع أصولها إلى متعضيات حية وهي تدوم كأحافير في الصخور لملايين لا بل حتى بلايين السنين. ومعظم المواد الكيميائية الأحفورية تتكون من

الحياة في المريخ؟(**)



تهدف إحدى مهام مختبر العلوم الذي تنوي الوكالة ناسا إرساله إلى المريخ في عام 2011 إلى تحديد فيما إذا كان الميثان في الكوكب الأحمر ناجما عن نشاط حيوي، وذلك من خلال دراسة نسبة الكربون 12 إلى الكربون 13 في الغاز. إلا أن دراسة المدينة المفقودة بينت أنه في ظروف معينة لا يمكن تمييز المنشأ الحيوي من المنشأ الجيولوجي باستخدام نسبة نظائر الكربون؛ أي أن الإشارة السلبية لنسبة نظائر الكربون لن تنفي إمكانية وجود حياة على المريخ.

(*) Sourcing Methane
(**) LIFE ON MARS?

مشتقات الدهون التي تشكل الغشاء الخلوي. وعلى الرغم من عدم احتواء هذه الدهون على كم المعلومات المتوافر في الدنا أو الأحافير الفيزيائية إلا أنها مؤشرات حيوية يمكن الاعتماد عليها، وقد تحتوي على بنىً تشخص هوية الكائن الذي أنتجها.

كما أن عنصر الكربون المكون للدهون ذاته يحوي معلومات، لأن فيه **مؤشرا** Marker يوضح كيفية استخلاص الكائنات للكربون من البيئة. وهذا المؤشر هو الكربون 13، وهو شكل نادر من العناصر لا يتغير مع الزمن. والكربون الموجود في الأحياء يحوي بين 1 و 3.5 في المئة كربون 13، وهو يقل عن ذلك الموجود في ثاني أكسيد الكربون المحلول في ماء البحر. وبناءً على ذلك، افترض العلماء أن الكربون الذي يفتقر إلى هذا القدر من الكربون 13 ناجم عن كائنات حية. وفي المقابل، يكون الكربون غير المفتقر إلى الكربون 13 الموجود في حجارة قديمة ذا منشأ لاحيوي.

إلا أن المدينة المفقودة تُخطّئ هذا الافتراض. فقد تبين من خلال عملي في المعهد MIT أن منشأ إحدى أكثر المواد الكربونية في المدينة المفقودة هو الميثانوجينات. ومع ذلك فإن هذه المواد الدهنية لا تظهر أي افتقار إلى الكربون 13. وبدلا من ذلك، فإن الكربون 13 لتلك المواد الدهنية مماثل لما هو متوقع في المواد غير الناجمة عن متعضيات حية.

كيف يمكن أن يكون ذلك؟ إن استخدام الكربون 13 كمتتبع للحياة يستند إلى افتراض أن توفر ثاني أكسيد كربون في البيئة يتجاوز ما يمكن استخدامه. وطالما هناك فائض من ثاني أكسيد الكربون، تثبت المتعضيات الكربون 12 الأخف المفضل وتنبذ الكربون 13 الأثقل. أما إذا كان ثاني أكسيد الكربون قليلا إلى حد ما، فيكون سعي المتعضيات موجها نحو التقاط كل ما توفر من جزيئات الكربون بغض النظر عن ثقله. وفي حال حدوث ذلك، لن تختلف نسبة الكربون 13 في المتعضية عما هي في الوسط. ولن يكون بإمكاننا اعتماد هذا الكربون في تعقب كيميائي لنشأة الحياة.

وهذا ما يحدث بالفعل في فتحات المدينة المفقودة. وعلى عكس ما هو جارٍ في جميع البيئات الأخرى على كوكب الأرض حيث يتوافر على الدوام الكثير من ثاني أكسيد الكربون، يسيطر الهدروجين في المدينة المفقودة ويندر وجود ثاني أكسيد الكربون. وهذا ما يدفع المتعضيات إلى نحو استخدام **نظائر الكربون** carbon isotopes من دون تمييز.

وإشكالية الاختفاء تنطبق أيضا على الميثان. فالميثان الناجم عن المتعضيات يظهر افتقارا كبيرا في الكربون 13، بعكس الميثان الناجم عن التفاعلات الكيميائية الجيولوجية. إلا أن هذا لا يظهر دائما في المنظومات السربنتينية. فالميثان في الفتحات المائية لدى المدينة المفقودة لا يظهر الافتقار المعهود إلى الكربون 13. ويعرف الباحثون من خلال مشاهداتهم بأن هذا الميثان هو خليط منشؤه حيوي وجيولوجي، وبأن النظائر الكربونية لوحدها غير قادرة على تمييزها.

وفي حال تطورت الحياة في مكان آخر في المنظومة الشمسية فالأغلب أنها تتكون من ميكروبات ميثانوجينات تقبع في صخور عرضة للسربنتينية. ونحن نعلم أن الميثان ينتج في كوكب المريخ. وتخطط الوكالة ناسا لإطلاق مختبر المريخ العلمي في عام 2011 الذي تتمثل إحدى مهماته بتحديد نسبة نظائر الكربون للميثان؛ فافتقار شديد إلى الكربون 13 سيكون بمنزلة مؤشر إلى وجود متعضيات على هذا الكوكب الأحمر.

إلا أن ما أظهرته الأبحاث حول المدينة المفقودة يوضح جليا أن الفشل في الحصول على هذه الإشارة لا يعني بالضرورة غياب هذه المتعضيات. ويمثل اكتشاف ميكروبات تترعرع في هذا النمط من الأنظمة البيئية بالفعل حافزا آخر نحو توقع أرجحية اكتشاف إشارات حيوية في كوكب آخر في المستقبل. ■

مراجع للاستزادة

Dawn in the Deep: The Bizarre World of Hydrothermal Vents. Richard A. Lutz in *National Geographic,* Vol. 203, No. 2, pages 92–103; February 2003.

The Mystery of Methane on Mars and Titan. Sushil K. Atreya in *Scientific American,* Vol. 296, No. 5, pages 24–43; May 2007.

Lost City Expedition Web site: **www.lostcity.washington.edu**

Scientific American, December 2009



July / August - 2010 Volume 26 Number 7/8

SCIENTIFIC AMERICAN



SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR: Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR: Philip M. Yam
SEnIor writeR: Gary Stix
EDITORS: Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson

ASSOCIATE EDITORS, ONLINE: David Biello, Larry Greenemeier
NEWS REPORTER, ONLINE: John Matson
ART DIRECTOR, ONLINE: Ryan Reid

ART DIRECTOR: Edward Bell
ASSISTANT ART DIRECTOR: Jen Christiansen
PHOTOGRAPHY EDITOR: Monica Bradley

COPY DIRECTOR: Maria-Christina Keller

EDITORIAL ADMINISTRATOR: Avonelle Wing
SENIOR SECRETARY: Maya Harty

COPY AND PRODUCTION, NATURE PUBLISHING GROUP:
SENIOR COPY EDITOR, NPG: Daniel C. Schlenoff
COPY EDITOR, NPG: Michael Battaglia
EDITORIAL ASSISTANT, NPG: Ann Chin
MANAGING PRODUCTION EDITOR, NPG: Richard Hunt
SENIOR PRODUCTION EDITOR, NPG: Michelle Wright

PRODUCTION MANAGER: Christina Hippeli
ADVERTISING PRODUCTION MANAGER: Carl Cherebin
PREPRESS AND QUALITY MANAGER: Silvia De Santis
CUSTOM PUBLISHING MANAGER: Madelyn Keyes-Milch

PRESIDENT: Steven Inchcoombe
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION: Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT: Michael Florek
BUSINESS MANAGER: Marie Maher

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag